

Saku Saarinen

LÄMPÖKAMERAKUVAUKSET SÄHKÖKUNNOSSAPIDOSSA

Sähkö- ja automaatiotekniikan koulutusohjelma

2020

LÄMPÖKAMERAKUVAUKSET SÄHKÖKUNNOSSAPIDOSSA

Saarinen, Saku
Satakunnan ammattikorkeakoulu
Sähkö- ja automaatiotekniikan koulutusohjelma
Huhtikuu 2020
Sivumäärä: 70
Liitteitä: 3

Asiasanat: lämpökamera, lämpökuvaus, kunnossapito

Tämän opinnäytetyön tavoitteena oli tutustua lämpökamerakuvauksien hyödyntämiseen tehtaan sähkökunnossapidossa mahdollisimman monipuolisesti. Tutustumisen jälkeen seuraava askel oli perehtyä lämpökuvaamisen teoriaan ja turvallisuuteen sekä laatia niiden pohjalta ohjeistukset lämpökuvattaville laitteille.

Työssä perehdyttiin verkkolähteiden, aiheen kirjallisuuden, koulutusaineistojen sekä työntekijöiden aiempien kokemusten perusteella lämpökuvauksen ohjeistuksiin ja vaatimuksiin sekä turvallisuuden huomioon ottamiseen sähkömoottoreiden, keskuksien, turvakytkimien sekä muuntajien lämpökuvaamisessa. Ohjeistukset lämpökuvattaviin laitteisiin laadittiin lämpökuvauksen ohjeiden sekä vaatimusten avulla.

Opinnäytetyön lopputuloksena opittiin lämpökuvauksen teoriaa, lämpökameran oikeaa käyttöä ja lämpökuvauksen raportointiin liittyviä määräyksiä. Näiden lisäksi saatiin ohjeistukset lämpökuvattaville laitteille, joissa otettiin huomioon turvallisuus, käytännöllisyys sekä järjestelmällisyys. Lopuksi valmis opinnäytetyö esiteltiin tilaajalle.

Laadittujen ohjeistuksien avulla voidaan jatkaa tehtaan lämpökuvauksia turvallisesti, järjestelmällisesti sekä lämpökuvaaminen voidaan ottaa enemmän osaksi tehtaan sähkökunnossapitoa.

THERMAL IMAGING IN ELECTRICAL MAINTENANCE

Saarinen, Saku

Satakunta University of Applied Sciences

Degree Programme in Electrical and Automation Engineering

April 2020

Number of pages: 70

Appendices: 3

Keywords: thermographic camera, thermography, maintenance

The goal of this thesis was to get familiar with the utilization of thermal imaging in factory's electrical maintenance as versatile as possible. After that, the next step was to get familiar with the theory and safety of thermal imaging and to write instructions for thermal imaging based on them.

The requirements and instructions of thermal imaging were familiarized by using online sources, literature about the subject, training materials and previous experience of employees. Also safety regarding thermal imaging of electric motors, switchboards, safety switches and transformers was familiarized with sources mentioned before. Instructions for thermal imaging of gadgets were written based on instructions and requirements for thermal imaging.

Result of this thesis was increased knowledge of theory regarding thermal imaging, appropriate usage of thermal cameras and specifications regarding reportage of thermal imaging. In addition to that instructions that take into account safety, practicality, and systematism were written for thermally imagined gadgets. And finally the finished thesis was presented to the client.

With help of the written instructions thermal imaging at the factory can continue in a safe and systematic way and thermal imaging can more be taken as a part of electrical maintenance of the factory.

SISÄLLYS

1	JOHDANTO.....	7
2	TYÖN TOIMEKSIANTAJA	8
2.1	Oy Botnia Mill Service Ab	8
2.1.1	Strateginen kumppanuus	8
3	YLEISTÄ LÄMPÖKAMERAKUVAAMISESTA	9
3.1	Lämpökuvaaminen.....	9
3.2	Sähkölaitteiden lämpökuvaaminen	9
4	TERMODYNAMIIKAN PERUSTEITA.....	10
4.1	Lämpötila-asteikot	10
4.1.1	Absoluuttinen lämpötila-asteikko.....	10
4.1.2	Suhteellinen lämpötila-asteikko	10
4.2	Laite- ja komponenttistandardit	11
4.3	Sähkömagneettinen spektri	11
4.4	Infrapunasäteily.....	11
4.5	Lämpösäteilyn jakaminen	12
4.6	Lämpöenergia	12
4.6.1	Lämpösäteily	12
4.6.2	Konduktio	13
4.6.3	Konvektio	13
4.7	Emissiokerroin	13
4.7.1	Emissiokertoimen määrittäminen.....	14
4.8	Heijastunut säteily.....	15
5	LÄMPÖKAMERAN TOIMINTAPERIAATE, OSAT JA KÄYTTÖ	16
5.1	Lämpökameran toimintaperiaate	16
5.2	Lämpökameroiden optiikka	16
5.3	Lämpökameroiden tarkkuus ja herkkyys	18
5.3.1	Lämpökameroiden tarkkuus	18
5.3.2	Lämpökameroiden herkkyys	18
5.4	Käytetyn lämpökameran esittely.....	18
5.4.1	Lämpökamera Fluke Ti32 tärkeimpiä ominaisuuksia	19
5.4.2	Lämpökamera Fluke Ti32 toimintojen ja säätimien esittely	20
5.5	Hyvä lämpökamerankuva	21
5.5.1	Tarkennus	21
5.5.2	Lämpötila-alue.....	22
5.5.3	Kuvausetäisyys	23

5.5.4	Väripaletti	23
5.6	Kuvaaminen lämpökameralla	23
5.7	Isoimmat virheet lämpökamerakuvaamisessa.....	24
6	SÄHKÖTYÖTURVALLISUUS SÄHKÖLAITTEIDEN LÄMPÖKUVAAMISESSA.....	26
6.1	Sähkölaitteistojen lämpökuvaamisessa tärkein asia.....	26
6.2	Sähkötyöturvallisuus lämpökuvaamisessa.....	26
6.3	Jännitetyöalueen huomioiminen	26
6.3.1	Jännitetyöalue	27
6.3.2	Jännitetyö	28
7	SÄHKÖLAITTEISTON LÄMPÖKUVAUKSEN SUORITTAMINEN.....	29
7.1	Sähkölaitteiden kuvaamisessa tarvittavat varusteet.....	29
7.1.1	Vaatimuksia sertifioidun lämpökuvaajan laitteistolle	29
7.1.2	Lämpökameran kalibrointi	30
7.2	Lämpökuvauksen valmistelu sähkölaittekuvauksissa.....	30
7.2.1	Sähkölaitteisto kuvaushetkellä	31
7.2.2	Sopimus	31
7.3	Kuvaolosuhteet ja niiden huomioiminen.....	31
7.4	Virran mittaaminen ja laitteiston kuormitus	32
7.4.1	Kuormitusvirta.....	32
7.5	Lämpökuvauksen suorittaminen	33
7.5.1	Kohteen yksilöinti	34
7.5.2	Mahdollisten suojausten poistaminen.....	34
7.5.3	Kohteen virtojen mittaaminen	34
7.5.4	Sopiva lämpötila-asteikko	35
7.5.5	Kohteen kuvaaminen oikeasta suunnasta sekä kohdasta.....	35
7.5.6	Kuvausetäisyydet sekä mahdolliset heijastumat	36
7.5.7	Kuvan analysointi kuvatessa	37
7.6	Raportti	38
7.6.1	Mitä raportissa tulee olla	39
8	OHJEISTUS KUVATTAVIEN LAITTEIDEN KUVAAMISEEN	41
8.1	Lämpenemä ja lämpötilojen raja-arvoja	41
8.1.1	Lämpenemä	42
8.1.2	Sähkölaitteiden kosketeltavissa olevien osien lämpötila raja-arvoja .	42
8.1.3	Keskuksen ja turvakytkimen komponenteille sekä johtimille annettuja lämpötilojen raja-arvoja.....	42
8.1.4	Katkasijat, releet, kontaktorit, moottorinsuojakytkimet ja lämpöreleiden lämpötilojen raja-arvoja.....	44

8.1.5	Kondensaattoriparistoiden lämpötila raja-arvot	46
8.1.6	Sähkömoottorille annettuja lämpötilan raja-arvoja	47
8.1.7	Muuntajien lämpötila raja-arvoja	48
8.1.8	ATEX- tilojen lämpötilaluokat	52
8.1.9	Lämpenemän ja lämpötilojen arviointi	52
8.2	Sähkökeskusten kuvaaminen	53
8.2.1	Keskuksen kasettilähtö	53
8.2.2	Riskit keskuksen lämpökuvaamisessa	54
8.2.3	Keskuksen lämpökuvauksen vaiheet	55
8.2.4	Mitä voisi ottaa huomioon uusien keskuksien tilauksessa.	56
8.3	Sähkömoottoreiden sekä turvakytkimen kuvaaminen	57
8.3.1	Riskit turvakytkimen kuvaamisessa	57
8.3.2	Riskit sähkömoottorin lämpökuvaamisessa	58
8.3.3	Turvakytkimen ja sähkömoottorin lämpökuvauksen vaiheet	59
8.4	Muuntajien kuvaaminen	60
8.4.1	IR- ikkunoiden määrä sekä asennuspaikat	61
8.4.2	Muuntajan kuvaamisen riskit	62
8.4.3	Muuntajan virtakiskojen ja niiden liitosten lämpökuvaaminen	62
8.4.4	Suojaamattomien virtakiskojen ja liitosten lämpökuvaamisen haasteet sekä niiden ratkaisut	63
8.4.5	Virtakiskojen ja liitosten lämpökuvaamisen ajankohta	64
8.4.6	Muuntajan lämpökuvaamisen vaiheet	65
9	TULOKSET	67
10	YHTEENVETO JA JOHTOPÄÄTÖKSET	68
	LÄHTEET	70
	LIITTEET	

1 JOHDANTO

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena on tutustua lämpökamerakuvauksien tuomiin etuihin sähkökunnossapidossa. Lämpökuvaamisessa sähköturvallisuus on otettava huomioon ja siksi siihen tullaan perehtymään tarkasti tässä työssä. Lämpökameran oikea käyttö ja mahdollisten poikkeuksien oikeanlainen raportointi tulee olemaan osa tämän työn aiheista. Näiden lisäksi tutustutaan lämpökuvaamisen teoriaan ja lämpökameran ominaisuuksiin. On myös tärkeää tutustua kuvattavien laitteiden toimintaan ja niille annettuihin lämpötila raja-arvoihin.

Työ alkaa tutustumalla opinnäytetyön tilaajaan, jonka jälkeen perehdytään lämpökuvauksen teoriaan ja lämpökameran ominaisuuksiin. Lämpökuvauksen teoriassa painotetaan asioihin, joita lämpökuvaajan tulee osata soveltaa lämpökuvauksen tekemisessä. Lämpökameran käyttöön ja sen ominaisuuksiin tullaan perehtymään, jotta osataan käyttää lämpökameraa mahdollisimman tehokkaasti. Lämpökuvaamisessa on otettava huomioon sähköturvallisuus, johon perehdytään myös tarkasti tässä työssä. Lämpökuvauksen raportin laadintaan annetaan oikeanlaiset ohjeistukset, jotta niissä on tarpeelliset asiat ja ne tulee selvästi raportissa esille.

Laitteiden lämpötila raja-arvoihin tutustumien on tärkeää, jotta saadaan käsitys, milloin lämpötila on normaalia laitteen lämpenemistä sitä kuormittaessa ja milloin kyseessä on poikkeuksellinen lämpenemä. Näiden lisäksi käsitellään kuormitusvirtojen vaikutus laitteen lämpenemään ja sen mittaamisen tärkeyteen lämpökuvaamisessa.

Lopuksi käydään läpi, miten eri laitteet tulee kuvata, jotta saadut tulokset ovat luotettavia ja vertailukelpoisia. Oikein tehty kuvaus on tärkeää lämpökuvien vertaamisessa, jolloin voidaan huomata mahdollisia lämpenemisiä pidemmällä aikavälillä.

2 TYÖN TOIMEKSIANTAJA

2.1 Oy Botnia Mill Service Ab

Toimeksiantaja työlle on Oy Botnia Mill Service Ab. Yritys on vuonna 1997 perustettu kunnossapidon palveluyhtiö, jonka omistaa Fibre ja Caverion. Yritys tarjoaa kaikki metsäteollisuuteen käynnissäpito-, kunnossapito- ja asennuspalvelut sekä projektointi- ja suunnittelupalvelut yksittäisistä tilauksista täydelliseen teollisuuslaitosten kunnossapitoon. Yritys toimii Suomessa seitsemässä eri toimipaikassa: Kemissä, Äänekoskella, Joutsenossa, Raumalla, Tampereella, Kuopiossa ja Vantaalla. Näissä toimipaikoissa työskentelee yhteensä noin 380 henkilöä. (Caverion Suomi Oy:n www-sivut 2019)

2.1.1 Strateginen kumppanuus

Oy Botnia Mill Service Ab:lla on strateginen kumppanuus Metsä Fibren kanssa ja he vastaavat Suomen sellutehtaiden kokonaisvaltaisesta prosessikunnossapidosta. Strategisella kumppanuudella pyritään saavuttamaan yhteisillä toimenpiteillä mahdollisimman suuri hyöty molemmille osapuolille. Näin he pystyvät yhdessä tähtäämään jatkuvan toiminnan, kilpailukyvyn ja laadun parantamiseen. Kumppanuuden tavoitteena Metsä Fibren tuotantoyksiköiden korkea käytettävyys sekä kunnossapitokustannusten hallinta ja BMS:n tulosityksikön liiketoiminnan kannattavuus on kumppanuuden suurimpina tavoitteina. (Caverion Suomi Oy:n www-sivut 2019)

3 YLEISTÄ LÄMPÖKAMERAKUVAAMISESTA

3.1 Lämpökuvaaminen

Merkittävä osa tulipaloista saa tutkimuksen mukaan alkunsa sähköasennuksista tai sähkölaitteista, joko käyttövirheen tai vikaantumisen seurauksena. Näitä paloriskejä voidaan huomata ajoissa lämpökuvauksen avulla ennen kuin merkittäviä vahinkoja tapahtuu. Laitteistojen kuvaukselle on näin tarvetta, mutta vain oikein tehtynä. Ammattitaitoisten ja sertifioitujen lämpökuvaajien määrä maassamme on kasvanut tasaisesti, kun henkilö- ja yritysarviointi SETI Oy alkoi auktorisoimaan sähkölaitteistojen lämpökuvaajien pätevyksiä vuonna 2013. (Hietanen, Tiainen, Alhainen, Rousku & Kari 2017, 3)

3.2 Sähkölaitteiden lämpökuvaaminen

Lämpökamerat ovat tulleet yhä useamman ulottuville, koska niiden hinnat ovat laskeutuneet. Kiinteistöjen kuvaukseen verrattuna sähkölaitteiston kuvaus on hyvin erilainen toimenpide, eikä ilman käsitystä kuvattavasta laitteistosta ja sen toiminnasta tule kuvausta suorittaa. Rakennusten kuvaamisessa itse kuvausvälineistö on käytännössä samaa, mutta sähkölaitteiston erityispiirteet on osattava ottaa huomioon. Kuvaajalla täytyy myös olla riittävän ominaisuuksin varustettu lämpökamera. Kuvaajan tulee tuntea kameransa toiminnot hyvin sekä osata soveltaa mm. termodynamiikan lakeja. (Hietanen, Tiainen, Alhainen, Rousku & Kari 2017, 3)

Lämpökuvaus oikein tehtynä voi paljastaa sähkölaitteista vikoja tai mahdollisesti jopa pitkälle edenneitä vaurioita. Virheelliset tulkinnat voivat kuitenkin johtaa turhiin korjauksiin, ja näin ollen turhiin kustannuksiin sekä väärään turvallisuuden tunteeseen. (Hietanen, Tiainen, Alhainen, Rousku & Kari 2017, 3)

4 TERMODYNAMIIKAN PERUSTEITA

Tässä opinnäytetyössä ei käydä termodynamiikan perusteita perinpohjaisesti läpi vaan tarkoitus olisi antaa perustietoja, jotta lämpökuvaamisen suorittaminen olisi helpompaa.

4.1 Lämpötila-asteikot

On olemassa kahta eri tyyppistä lämpötila-asteikkoa: suhteellista ja absoluuttista.

4.1.1 Absoluuttinen lämpötila-asteikko

Absoluuttiasteikolla lämpötila on nolla eli absoluuttinen nollapiste. Kun atomien ja molekyylien liike loppuu, kappale ei enää säteile lämpötilaa. Molekyylien nopeus on 2100km/s huonelämpötilassa, joten absoluuttista nollapistettä ei saavuteta edes laboratorioissa. Absoluuttisia asteikoita on kaksi: Kelvin [K] ja Rankine [°R] tai [°Ra]. Kelvin asteikko on nykyään vakiintunut käyttöön eikä Rankine-asteikkoa suositella käytettäväksi. (Hietanen, Tiainen, Alhainen, Rousku & Kari 2017, 9)

4.1.2 Suhteellinen lämpötila-asteikko

Suhteelliset asteikot ovat usein määritelty kahden referenssipisteen avulla. Näiden referenssipisteiden väli jaetaan yleensä tasajaolla osiin eli asteisiin. Nämä pisteet on pyritty valitsemaan mahdollisimman järkeviksi, jotta niiden tarkastustilanne olisi helppo järjestää. Esimerkiksi veden jäätymis- ja kiehumispiste ovat hyvä esimerkki tästä. Käytössä on nykyään kaksi suhteellista asteikkoa: Celsius [°C] ja Fahrenheit [°F]. Ongelmana suhteellisessa asteikossa on se, että niillä voi olla myös negatiivisia lämpötila-arvoja. Tämä tuottaa ongelmia laskelmien tekemisessä ja voi tehdä niistä mahdottomia laskea. Laskelmissa käytetäänkin tästä syystä absoluuttisia arvoja [K]. (Hietanen, Tiainen, Alhainen, Rousku & Kari 2017, 9)

4.2 Laite- ja komponenttistandardit

Laite- ja komponenttistandardit määrittelevät komponenttien sallitut maksimilämpenemät yleensä Kelvin- asteina. Maksimilämpenemällä tarkoitetaan sallittua maksimilämpenemää verrattuna ympäristön lämpötilaan maksimikuormituksella. Yhden Kelvin- asteen muutos on sama kuin yhden Celsius-asteen muutos. Tämä on huomioitava siinä, että esimerkiksi kosketeltavissa olevan, metallipintaisen ja ulkoisen kotelon maksimilämpenemäksi sallitaan 30 K. Tämä tarkoittaa samaa kuin 30 °C. (Hietanen, Tiainen, Alhainen, Rousku & Kari 2017, 10)

4.3 Sähkömagneettinen spektri

Sähkömagneettinen spektri sisältää kaikki sähkömagneettisen säteilyn eri aallonpituudet. Eri aallonpituudet aloittaen lyhyimmästä ja edeten aina pidempään ovat: gamma-säteily, röntgensäteily, ultraviolettisäteily, näkyvä valo, infrapunasäteily, mikroaallot ja radioaallot. Oleellista on, että ihmissilmä ei näe samaa kuin lämpökamera. (Hietanen, Tiainen, Alhainen, Rousku & Kari 2017, 10)

4.4 Infrapunasäteily

Kappaleet, joiden lämpötila on yli 0 K eli noin -273°C, lähettävät infrapunasäteilyä valon nopeudella. Mitä korkeampi niiden lämpötila on, sitä enemmän ne lähettävät infrapunasäteilyä. Mitä korkeampi on kappaleen lämpötila, on sen lähettämän lämpösäteilyn aallonpituus lyhyempää. Näin ollen mitä kuumempi kappale on, muodostuu sen mittaaminen lämpökameralla vaikeammaksi. Kappaleen lämpötila on 500°C, jolloin sen lähettämästä säteilystä merkittävä osa on jo näkyvän valon aallonpituudella. Jos tämä raja ylittyy vain niukasti, nähdään kappale punahehkuisena, koska siitä lähtee vain pitkittäisaaltoisinta näkyvää valoa. Jos kuitenkin kappaleen lämpötila on vielä tätäkin korkeampi, on kappale valkohehkuinen, sillä siitä lähtee kaikkia aallonpituuksia (värejä). (Hietanen, Tiainen, Alhainen, Rousku & Kari 2017, 12)

4.5 Lämpösäteilyn jakaminen

Lämpösäteily jaetaan kolmeen eri alueeseen: lähi-, keski- ja pitkäaaltoaikaan. Lähi-infrapunakaista on lähinnä näkyvän valon aallonpituutta olevaa lämpösäteilyä, jota hyödyntävät esimerkiksi kaukosäätimet ja videokamerat. Keski-infrapunakaistassa on ongelmana kappaleiden emissio kertoimet, jotka ovat yleensä pienemmät ja niiden emissiivisyydet vaihtelevat pitkäaaltoaikaista enemmän. Pitkäaaltoaikaista antaa paljon luotettavampia mittaustuloksia, koska lämpösäteilyä tapahtuu paljon enemmän varsinkin alle 100-asteen lämpötiloissa. On kuitenkin muistettava ja huomiotava, että eri lämpökameravalmistajien malleissa voi mittausaallonpituudet erota toisistaan. (Hietanen, Tiainen, Alhainen, Rousku & Kari 2017, 12)

4.6 Lämpöenergia

Kun tulkitsee lämpökuvaa, on tulkinnessa ja ymmärtämisessä tärkeää huomioida, että lämpö pyrkii aina siirtymään kuumasta kylmempään. Tämä tapahtuu, jos ei ole mitään ulkoisia tekijöitä. Tämä on termodynamiikan toinen laki eli energian siirtymisen laki, joka usein kirjoitetaan näin, että *luonnostaan lämpö siirtyy aina korkeammasta pitoisuudesta matalampaan*. Kun tämän ymmärtää voi se auttaa monesti vikapaikan löytymistä tai sen yksilöintiä juurikin sähkölaitteiden kuvauksissa. Lämpökameralla mitataan kohteen pinnasta tulevan lämpösäteilyn määrää, johon lämpö siirtyy jollakin seuraavasta kolmesta tavasta: lämpösäteily infrapunasaiteily, konduktio tai konvektio. Lämpösäteily tarkoittaa infrapunasaiteilyä, konduktio johtumista ja konvektio siirtymistä. (Hietanen, Tiainen, Alhainen, Rousku & Kari 2017, 14)

4.6.1 Lämpösäteily

Elektromagneettisten säteiden siirtymistä ilmassa kutsutaan lämpösäteilyksi eikä sitä pystytä näkemään. Materiaalit, joiden lämpötila on absoluuttisen nollapisteen yläpuolella säteilevät lämpöenergiaa. Tästä voidaan antaa esimerkkinä aurinko, ihmiset, huonekalut, katot, jäävuoret tms. (ST 53.62 2019, 5)

4.6.2 Konduktio

Konduktio tapahtuu kiinteässä aineessa ja on suoraan lämmön johtumista aineessa, johtuen fyysisestä kontaktista. Esimerkiksi lämmitetään kuparitangon päätä, jolloin lämpö johtuu tangon läpi myös toiseen päähän tätä tankoa. (Vuorinen 2016, 9)

4.6.3 Konvektio

Konvektio voidaan yksinkertaisesti sanoa, että se on lämpövirtausta fluidissa. Yleisnimitystä fluidi käytetään liikkuvalla aineella kuten nesteelle tai kaasulle. Luontainen lämmönjohtuminen rakennuksissa on suurelta osin ylöspäin ja hieman sivuille, mutta ei alaspäin. Esimerkki konvektio tilanteesta muuntajassa: Muuntajassa on öljyä, joka nousee lämmitessään luontaisesti ylöspäin ja ylhäällä ohjataan se jäähdytysrimojen takana oleviin jäähdytyskanaviin. Jäähdytysrimat jäähdyttävät takana olevaa öljyä niin, että jäähtyessään se laskeutuu takaisin alaspäin. Näin öljyjäähdytteisen muuntajan jäähdytys toimii. (Hietanen, Tiainen, Alhainen, Rousku & Kari 2017, 16)

4.7 Emissiokerroin

Emissiokertoimelle on myös muitakin nimiä kuten: emissiviteetti, emissiivisyys, emission ja emittanssi. Emissiokerroin on materiaalin ominaisuus, joka kertoo kohteen kyvystä säteillä lämpöenergiaa. Emissiokerroin esitetään lukuna 0...1 välillä. Lämpösäteilylle täydellisen heijastimen emissiokerroin on 0. Mustassa kappaleessa emissiokerroin on 1, koska kappale ei heijasta mitään vaan ainoastaan säteilee. Kuitenkin käytännössä emissiokerroin voi olla vain näiden väliltä eikä koskaan 0 tai 1. (ST 53.62 2019, 5)

Hyvänä nyrkkisääntönä voidaan pitää sitä, että mitä heijastavampi pinta on, sitä lähempänä emissiokerroin on arvoa 0. Mitä heijastamattomampi pinta on, sitä lähempänä sen emissiokerroin on arvoa 1. Ilmassa kulkeva infrapunasäteily osuu kohteeseen, jolloin osa voi imeytyä siihen lämpönä, osa heijastua sen pinnasta pois sekä osa voi kulkea kohteen läpi. *Emissiokerroin kuvaa siis sitä kuinka suuren osan kokonais-säteilyyn verrattuna kappale itse säteilee ja kuinka paljon se heijastaa.* Heijastavat

pinnat heijastavat ympäristön lämpösäteilyä suhteessa enemmän mitä ne itse säteilevät, joka aiheuttaa sen, että niiden lämpötilan mittaaminen lämpökameralla on lähes mahdotonta. Nyrkkisääntönä voidaan pitää sitä, että orgaanisilla aineilla on yleensä korkea emissiokerroin eli noin 0,8-0,98. Emissiokerroin vaikuttaa siis suuresti lämpökameralla tehtävään mittaukseen ja saatuun tulokseen. (Hietanen, Tiainen, Alhainen, Rousku & Kari 2017, 17)

4.7.1 Emissiokertoimen määrittäminen

Emissiokerroin on mahdollista määrittää lämpökameran avulla. Seuraavaksi esimerkki miten se voidaan tehdä:

- Ensimmäiseksi lisätään heijastavaan pintaan korkealla emissiokertoimella oleva vertailupiste. Esimerkiksi teippi, tussia tai maalia, *mutta tässä täytyy huomioida turvallisuus*. Tämän tehtyä odotetaan, että vertailupisteen lämpötila ja kohteen lämpötila on sama.
- Toiseksi mitataan lämpötila tästä pisteestä, jonka teit ja kirjataan se muistiin.
- Kolmantena mitataan nyt lämpötila alkuperäisestä kohteesta ja säädetään samalla emissiokerrointa niin, että lämpötilalukema näyttää samaa kuin vertailupisteessä.
- Tiedät nyt kyseisen kohdan emissiokertoimen, joka on sillä hetkellä, siltä etäisyydeltä ja siitä kulmasta mitattu.
- Vertailupisteen ja mittauspisteen lämpötilan tulisi olla vähintään 20 °C ympäristöä lämpimämpi.

On kuitenkin huomioitava, että pistekohtaisen emissiokertoimen säätö on vain lämpötilalukeman matemaattinen korjaus. *Se ei vaikuta itse lämpökameran kuvaan eli värit eivät muutu lämpökuvassa vastaamaan lämpötilalukemia*. (Hietanen, Tiainen, Alhainen, Rousku & Kari 2017, 20)

4.8 Heijastunut säteily

On tärkeää huomioida, että kohteesta heijastanut säteily ei muuta mitattavan pinnan lämpötilaa. Erilaisia suojia käyttämällä voi yrittää estää heijastumia tai yrittää kuvata hieman eri kulmasta. Lämpökuvaajan on tärkeää olla kuvaamatta kohtisuoraa kohdetta. Tällöin kuvaajan oma lämpösäteily voi heijastua kohteesta ja näin vääristää mitattavan kohteen tuloksia. Jos kuvaaja epäilee, onko kylmä tai kuuma kohta heijastuma voi sen tarkastaa siirtymällä hieman. Mikäli epäilyttävä kohta siirtyy tai muuttaa muotoaan on se heijastuma jostakin. (Hietanen, Tiainen, Alhainen, Rousku & Kari 2017, 21)

5 LÄMPÖKAMERAN TOIMINTAPERIAATE, OSAT JA KÄYTTÖ

5.1 Lämpökameran toimintaperiaate

Aluksi on hyvä tietää, miten lämpökamera itseasiassa toimii ja mikä on sen toimintaperiaate. Niin kuin ennen jo ilmeni, että tässä maailmankaikkeudessa jokainen kohde tai kappale, joiden lämpötila on yli absoluuttisen nollopisteen lähettävät lämpösäteilyä eli infrapunasäteilyä. Tämän lähetetyn lämpösäteilyn lämpökamera vastaanottaa ja mittaa sen voimakkuuden sekä muuntaa sen lämpöjakauman mukaan kuvaksi. Kuvaa voi tarkastella ihan tavallisella videonäytöllä sekä kameran omalla etsimellä reaaliajassa värillisenä. Mittaavat lämpökamerat on kalibroitu näyttämään myös lämpötiloja kuvasta vapaavalintaisesta kohtaa. Lämpökamerat pystyvät erottamaan 0,1 celsiusasteen erot. Lämpökameroissa on muistikortti, jonka avulla kuvat saadaan siirrettyä koneelle tarkempaan tarkasteluun, analyysin- sekä raportointia varten. Eli lyhyesti ja selvästi: *Lämpökamerat ovat vastaanottimia, jotka muodostavat näytölleen kuvan kohteesta tulevan kokonaislämpösäteilyn perusteella.* (Opetushallituksen www-sivut 2019)

Usein kuulee, että joku sanoo lämpökameraksi myös perinteistä infrapunakameraa. On siis hyvä tietää myös se, mikä ero on lämpökameralla ja perinteisellä infrapunakameralla. Infrapunakamerat ovat paljon edullisempia verrattuna lämpökameraan. Infrapunakamera toimivat juuri ja juuri silmälle näkymättömän infrapunan alueella. Tämä tarkoittaa sitä, että ne eivät näe kohteen itsensä lähettämää lämpösäteilyä. Lämpökamerat ovat itsessään myös infrapunakameroita, mutta ne vastaanottavat joko 3-5 μ m tai 8-12 μ m spektrialueella, jossa siis kohteet itse säteilevät lämpöä. (Opetushallituksen www-sivut 2019)

5.2 Lämpökameroiden optiikka

Usein kuulee sanan matriisi, IR-tarkkuudesta tai ilmaisimesta lämpökameroiden yhteydessä. Näillä tarkoitetaan sitä montako lämpötilapistettä eli pikseliä lämpökameran

kuvassa on. Sähkölaitteiden kuvauksissa on vaatimuksena vähintään 160 x 120 ilmaisinta, mikä tarkoittaa siis 19200 pikseliä. (Hietanen, Tiainen, Alhainen, Rousku & Kari 2017, 26)

Se miten lämpökameran linssi aukeaa vaikuttaa yhden pikselin kokoon. Esimerkiksi 160 vaakapikseliä ja linssi aukeaa 25° vaakasuunnassa sekä kuvausetäisyytenä on yksi metri, on yhden pikselin vaakasuuntainen koko noin 2,8mm ja lämpökuvaan vaakasuuntaisesti mahtuva alue on leveydeltään 44cm. Samalla optiikalla varustettu lämpökamera, mutta tämän linssi aukeaa 45° vaakasuunnassa sekä kuvaus etäisyys on sama yksi metri, jolloin yhden pikselin vaakasuuntainen koko onkin 5,2mm ja lämpökuvaan vaakasuuntaisesti mahtuva alue onkin noin 83cm. Vaikka näissä kahdessa on sama optiikka eli samankokoinen ilmaisinta niin toisella pystytään näkemään/mittaamaan paljon pienempiä asioita ja toisella taas nähdään isompi alue kerrallaan. (Hietanen, Tiainen, Alhainen, Rousku & Kari 2017, 26)

FOV eli Field Of View tarkoittaa lämpökuvaan mahtuvan kuvausalueen kokoa. FOV:sta voidaan käyttää myös nimitystä näkökenttä tai kuva-alue. IFOV eli Instantaneous Field Of View kertoo puolestaan yhden pikselin koon. IFOV:sta voidaan käyttää myös nimityksiä pikselinerottelukyky, paikkaerotuskyky, erotuskyky tai spatiaalinen erottelukyky. IFOV on yleensä milliradiaaneina (mRad). Tätä tietoa on erittäin tärkeää tekninen tieto, sillä siinä yhdistyvät ilmaisinta sekä linssin aukeamiskulma. Jos ilmoitetaan: IFOV = 2,5mRad tarkoittaa tämä sitä, että kun kuvausmatka on yksi metri, on yhden pikselin koko näytöllä 2,5 mm x 2,5 mm. Joskus myös näkee lyhenteen IFOV_{meas} ja tällä tarkoitetaan pienintä asiaa, jota voidaan mitata. IFOV on tärkeää huomioida kameran valinnassa. (Hietanen, Tiainen, Alhainen, Rousku & Kari 2017, 26)

Mikään lämpökamera ei pysty mittaamaan yhden pikselin lämpötilaa vaan lämpötila mitataan yleensä noin 2-3 pikselin kokoiselta alueelta. Tämä mahdollistaa sen, että lämpökameralla pystyy melko kaukaa näkemään ongelman. Mutta kun suoritetaan lämpömittaus, täytyy mennä lähemmäs kohdetta. Nyrkkisääntönä voi pitää, että *lämpökuvaus tulisi suorittaa aina niin läheltä kuin mahdollista, mutta kuitenkin turvallisesti ja järkevä käyttäen*. (Hietanen, Tiainen, Alhainen, Rousku & Kari 2017, 27)

Lämpösäteilyyn ei voida zoomata optisesti. Joissakin lämpökameroissa on digitaalinen zoom-toiminta, mutta tämä ei paranna pikselierottelukykyä tai mittaustarkkuutta. (Hietanen, Tiainen, Alhainen, Rousku & Kari 2017, 27)

5.3 Lämpökameroiden tarkkuus ja herkkyys

5.3.1 Lämpökameroiden tarkkuus

Voidaan todeta, että lämpökameroiden tarkkuus on lähes poikkeuksetta $\pm 2^\circ\text{C}$ tai $\pm 2\%$ riippuen kumpi on suurempi, silloin kun kameran kaikki asetukset ovat oikein. Näillä luvuilla tarkoitetaan siis sitä, että tarkkuus on $\pm 2^\circ\text{C}$ kun mitataan alle 100°C lämpötiloja ja $\pm 2\%$ tarkkuus lukemasta, kun mitataan yli 100°C lämpötiloja. Tästä huomataan, että lämpökamera ei ole tarkkuusmittalaite. Silti lämpökamera on hyvä kalibroida valmistajan ohjeiden mukaan tai oman laatu järjestelmän mukaisin välein. (ST 53.62 2019, 6)

5.3.2 Lämpökameroiden herkkyys

Niin kuin tuossa aiemmin todettiin, ettei lämpökamera ole kovin tarkka on se silti erittäin hyvä laite lämpötilaerojen havaitsemiseen. Termi NETD (Noise Equivalent Temperature Difference) eli lämpöherkkyys tarkoittaa sitä, että jos lämpökameran teknisissä tiedoissa kerrotaan esimerkiksi NETD $< 50\text{mK}$ tarkoittaa tämä, että kameralla pystyy havaitsemaan 50mK :n eli $50\text{mK} = 0,05\text{K} = 0,05^\circ\text{C}$ herkkyydellä lämpötilaeroja. Eli selvemmin mitä parempi NETD on sitä selkeämpi kuva ja näin ollen nähdään helpommin pienetkin alkavat ongelmat. Eli mitä parempi NETD on, sitä kalliimpi on myös kamera. Eli hinta ja laatu kulkevat käsikädessä. (Hietanen, Tiainen, Alhainen, Rousku & Kari 2017, 28)

5.4 Käytetyn lämpökameran esittely

Tässä työssä tarkastellaan Fluken Ti32 lämpökameraa, joka on tehtaalla sähkökunnossapidon käytössä.

5.4.1 Lämpökamera Fluke Ti32 tärkeimpiä ominaisuuksia

Kuvan laatu on erinomainen, joka mahdollistaa ongelmien havaitsemisen nopeasti. Tämän mahdollistaa: (Fluke Finland Oy:n www-sivut 2019)

- 320 x 240 pikselin ilmaisin, joka mahdollistaa tarkat ja selkeät kuvat.
- Pienien lämpötilaerojen havainnollistaminen erinomaisen lämpöherkkyyden eli NETD ansiosta.
- Digitaali- ja lämpökuvien automaattinen kohdistus sekä fluken oma patentoitu IR-Fusion®- tekniikka.
- Tähän kameraan on myös mahdollista saada lisävarusteena tele- ja laajakulma-lämpökuvauslinssit.

Kamera on myös helppo käyttöinen ja tämä on hyvä ominaisuus tehdasympäristössä. Helppokäyttöisyydestä muutama esimerkki. (Fluke Finland Oy:n www-sivut 2019)

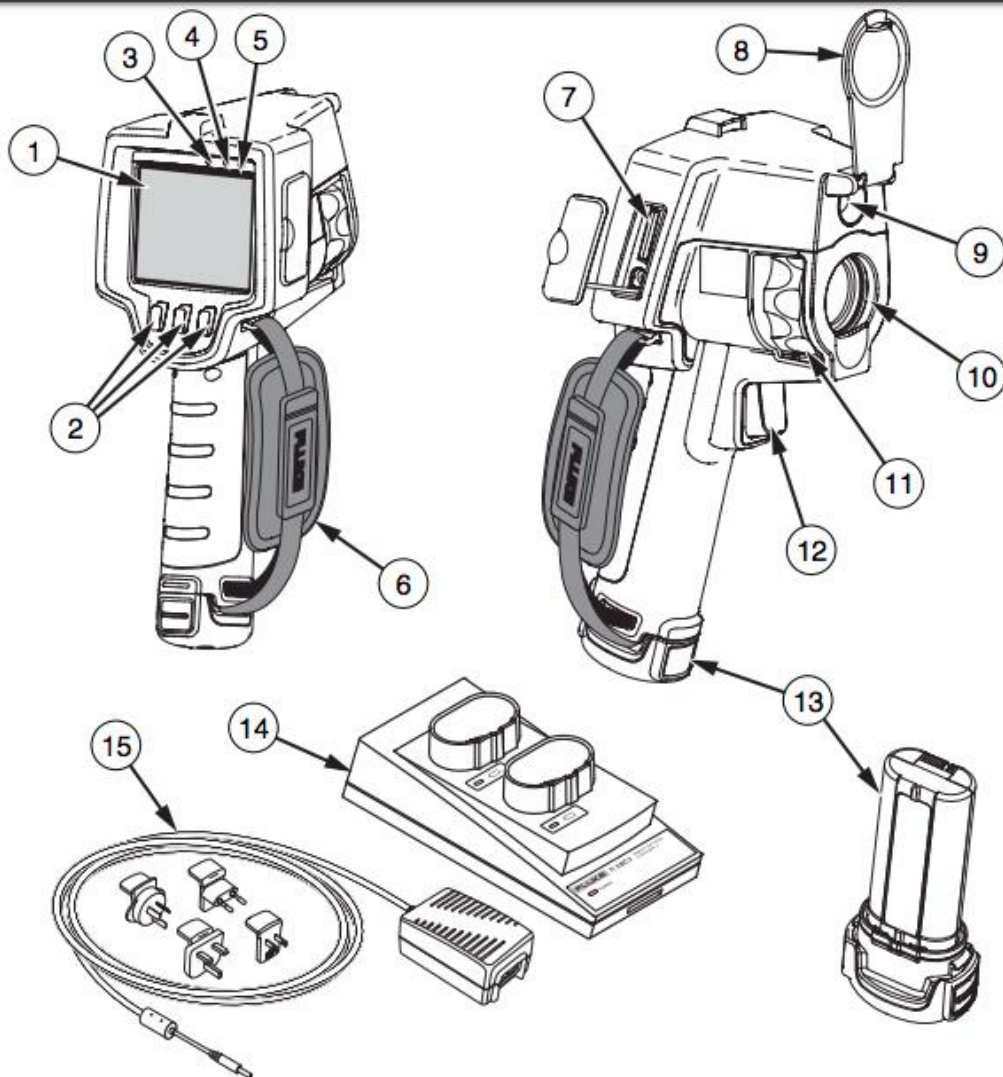
- Akut ovat vaihdettavia, jolloin saadaan pidettyä kamera käytössä toisen akun latautuessa.
- Kolmipainikkeinen valikko, joka on selkeä ja siinä voi liikkua vain yhden peukalon painalluksella.
- Kuvien tallennuksessa voi käyttää äänikommenttia, johon voi puhua havainnot kohteesta.
- Tarkennus yhdellä kädellä.
- Säädetty emissikerroin, lämpösiirron korjaus sekä heijastuneen taustasäteilyn kompensointi.
- Rannehina molempikätiselle säädettävissä
- Kattava tuotepaketti kameran mukana toimitettuna

Tehtaalla kunnossapidossa arvostetaan kestävyyttä ja se on myös tässä kamerassa huomioitu erinomaisesti. (Fluke Finland Oy:n www-sivut 2019)

- Suunniteltu kestävä kettäkäyttöä haastavissa olosuhteissa.
- Kestää pudotuksen kahden metrin korkeudesta todistettavasti.
- Vesi- ja pölysuojattu IP54 mukaan.

5.4.2 Lämpökamera Fluke Ti32 toimintojen ja säätimien esittely

Fluke Ti32 Lämpökameran painikkeiden ja muiden osien esittely sekä havainnollistaminen esitetään kuvan 1 ja kuvan 2 avulla. Näiden kuvien avulla selviää hyvin kameran painikkeiden ja säätimien fyysinen sijoittelu.



Kuva 1. Ti32 Lämpökameran osien esittely. (Fluke Finland Oy:n www-sivut 2019)

Osa	Kuvaus
1	Nestekidenäyttö
2	Ohjausnäppäimet (F1, F2 ja F3)
3	Kaiutin
4	Mikrofoni
5	Automaattinen taustavalotunnistin
6	Käsihihna
7	SD- muistikortin/virtaliitännän lokero
8	Ulosvedettävä objektiivinsuojus
9	Visuaalinen kamera (näkyvän valon kamera)
10	Infrapunaobjektiivi
11	Tarkennuksen säädin
12	Kameran laukaisin
13	Älykäs irrotettava litiumioniakku x2
14	Kaksipaikkainen latausteline
15	Verkkovirtasovitin/virtalähde

Kuva 2. Lämpökamera osien nimitykset. (Fluke Finland Oy:n www-sivut 2019)

5.5 Hyvä lämpökamerankuva

Hyvän lämpökamerakuvan pystyy määrittelemään seuraavasti: (Hietanen, Tiainen, Alhainen, Rousku & Kari 2017, 31)

- Oikea tarkennus
- Oikea lämpötila-alue
- Oikea kuvausetaisyys
- Järkevä väripaletti

5.5.1 Tarkennus

Erilaisia tarkennus mekanisme, joita käytetään lämpökameroissa, on esimerkiksi: Automaattitarkennus, jossa kamera tarkentaa itse tarkentaa kuvan automaattisesti. Tällöin ei pysty vaikuttamaan tarkennukseen. Manuaalitarkennus, jonka käyttäjä suorittaa itse. Tällöin tarkennus tehdään kääntämällä tarkennusrullaa, että kuvasta tulisi mahdollisimman tarkka. LaserSharp-tarkennus, joka löytyy uudemmista lämpökameroista. Tämä toimii siten, että kamerassa on automaattitarkennustoiminto, jossa liipaisinta painamalla saadaan osoitettua laser-kohdistimella haluttuun kohteeseen, jonka

jälkeen liipaisin palautetaan. Tämä mittaa etäisyyden kohteeseen sekä tarkentaa kuvausetäisyyden perusteella tiettyyn pisteeseen. Tästä saatu kuvausetäisyys tulee myös automaattisesti raporttiin. MultiSharp-tarkennuksessa lämpökamera ottaa monia lämpökuvia eri tarkennusetäisyyksiltä sekä muodostaa näistä tarkan lämpökuvan kaikilta etäisyyksiltä. Mutta näiden lisäksi on kuitenkin muistettava, että lämpökamerassa oleva digikamera on automaattitarkeiteinen. (Hietanen, Tiainen, Alhainen, Rousku & Kari 2017, 31)

Tarkennusta ei voi vähätellä lämpökuvauksessa, sillä se on tärkein työvaihe lämpökuvauksessa. On muistettava se, että tallennetun kuvan tarkkuutta ei voi muuttaa enää jälkikäteen. Tarkennuksen vaikutuksen huomaa lämpötila-arvoissa sekä lämpökuvan terävyydessä. Tarkennus tulisi suorittaa kohdassa, jossa on suurin lämpötilaero. (Hietanen, Tiainen, Alhainen, Rousku & Kari 2017, 31)

5.5.2 Lämpötila-alue

Lämpökuvauksessa voidaan käyttää, joko manuaalista tai automaattista alueenvalintaa. Suurimmassa osassa automaattialuevalinta toimii tarpeeksi hyvin ja on helppo käyttöinen, mutta siinä on syytä huomioida, että lämpötila-alue vaihtuu automaattisesti. Vaikka kuvassa jokin laitteen osa näyttää erittäin kuumalle voi se olla silti lämpötilaltaan lähellä muita, mutta on vain kuvan kuumin kohta. Esimerkkinä tästä tilanteesta käytetään, vaikka sinipunaista väripalettia ja kamera on siis automaattialuevalinnalla. On muistettava, että kuvassa näkyy aina sinistä ja punaista olipa lämpötilat arvot mitä tahansa. Tällaisissa tilanteissa on mahdollista, että tulee rajuja tulkinta virheitä ja näin ollen mahdollisesti turhia toimenpiteitä ja kustannuksia. Mutta tällaisessa tilanteessa katsoessa lämpötila-asteikkoa nähdään, että lämpötila sinisen ja punaisen pisteen välillä ei ole paljon eroa ja näin voidaan todeta, että kohteessa ei ole mitään ongelmia. (Hietanen, Tiainen, Alhainen, Rousku & Kari 2017, 33)

Niin kuin aiemmin jo selvisi, pystyy lämpötila-alueena käyttämään myös manuaalista aluetta. Tällöin pystytään itse määrittämään mittausalue käsin ja näin saadaan määriteltyä myös värit niin, että esimerkiksi punainen on oikeasti kuuma kohde ja vaatii

raportointia sekä mahdollisesti jo toimenpiteitä. Sähkökuvauksissa voidaan pitää lämpötila-aluetta huoneilman lämpötilasta toimenpiteitä edellyttävään lämpötilaan. Nämä alueet voisivat olla esimerkiksi 20°C...60°C tai myös 20°C...80°C. Vaikka alueet ovat noin isot on hyvä miettiä kohdetta ja lämpötilaeroja aina tilanteen mukaan. Esimerkiksi riviliitinrimassa yhden johtimen lämpötilaero on pari astetta muita lämpimämpi, jolloin on tämä syytä tarkistaa ja usein tällainen kertookin viallisesta liitoksesta. (Hietanen, Tiainen, Alhainen, Rousku & Kari 2017, 33)

5.5.3 Kuvausetäisyys

Lämpökuva tulee ottaa aina niin läheltä kuin on turvallista sekä järkevää kuvauskohde huomioiden. Lämpökuvassa käytetty kuvausetäisyys tulee myös näkyä raportissa kuvan kohdalla. (Hietanen, Tiainen, Alhainen, Rousku & Kari 2017, 34)

5.5.4 Väripaletti

Lämpökuvassa käytettävissä olevilla värisävyillä tarkoitetaan väripalettia. On huomioitavaa, että jotkut väripaletit toimivat kuvattavasta kohteesta riippuen paremmin kuin toiset. Myös eri väripaleteissa olevat värit voivat aiheuttaa eri reaktioita esimerkiksi punainen väri voidaan kokea vaarallisena. Sähkökuvauksissa hyviksi todettuja väripaletteja on sinipuna, suurikontrasti eli sateenkaari sekä rautasävyt. (Hietanen, Tiainen, Alhainen, Rousku & Kari 2017, 34)

5.6 Kuvaaminen lämpökameralla

Lämpökamerakuvauksen teorian jälkeen, siirrytään itse kuvaamiseen. Lämpökamerakuvauksessa on hyvä olla rauhallinen ja keskittyä siihen mitä on tekemässä, jolloin ei tarvitse kuvata useampaa kertaa samaa kohtaa.

5.7 Isoimmat virheet lämpökamerakuvaamisessa

Lämpökamerakuvaamisessa tulee helposti otettua kuvia, joita ei voi käyttää vertaamisessa sekä muutenkin on niin sanotusti käyttökelvoton. Tällaisen kuvan kuvaaminen on ajan hukkaa eli niiden välttäminen nopeuttaa, helpottaa kuvaamista sekä myös raportin tekoa. Taulukossa 1 on listattu yleisimmät virheet, joita lämpökuvauksessa tehdään, jotta osataan välttää niitä jatkossa. (Hietanen, Tiainen, Alhainen, Rousku & Kari 2017, 34)

Taulukko 1, Yleisimmät virheet lämpökamerakuvaamisessa. (Hietanen, Tiainen, Alhainen, Rousku & Kari 2017, 34)

Lämpökuvan virhe	Virheestä aiheutuva seuraus
Kuvaa kannet kiinni tai suojat paikallaan.	Lämpökamerakuva ei onnistu. Toisaalta on kuitenkin hyvä kuvata ensin kannet kiinni niin voi varmistua siitä, että keskuksen kansi ei ole vaarallisen kuuma sekä siinä saa samalla dokumentoitua keskuksen tunnuksen kannesta, jolloin tietää mistä keskukselta keskuksen sisäinen kuva on otettu.
Lämpökamerakuva otettu liian kaukaa.	Kuvasta ei saa selvää. Lämpökameroissa ei ole optista zoomia.
Mahdolliset heijastumat tulkittu viaksi.	Johtaa turhiin kustannuksiin.
Tarkennus tai paremmin sen unohtaminen.	Tällöin lämpökuva on epätarkka, joka johtaa väärään tulokseen.
Käytetty pelkästään automaattista lämpötila-aluevalintaa/skaalausta.	Ja näin ollen tutkitaan kuvaa väärin.
Emissiokertoimen asetettu väärin.	Johtaa väriin tuloksiin ja näin ollen jostain tärkeää voi jäädä huomaamatta.
Kuvaamisen yhteydessä unohdettu tai jätetty mittaamatta sen hetkiset kuormat tai ne on jäänyt dokumentoimatta.	Lämpökamerakuvaamisessa on tärkeää mitata kuormitus samalla. Ilman sitä ei tiedetä kuormitusvirtojen suuruutta, eikä voida niiden avulla analysoida kuvaa.

<p>Digikuva on liian tumma tai jopa musta, joka johtuu valaistuksesta. Toisin kuin lämpökuva, digikuva tarvitsee valoa.</p>	<p>Ei pystytä tulkitsemaan digikuvaa.</p>
<p>Lopuksi tehtävässä raportissa on liikaa kuvia, se on muuten hankalasti luettavissa tai sieltä puuttuu tärkeitä tietoja kuvasta.</p>	<p>Vaikka on sovittu jokaisen kohteen kuvaaminen niin kaikkia kuvia ei tarvitse laittaa raporttiin. Usein riittää ne, joissa havaitsee jotain poikkeavaa tai tarvitsee lisää tutkimusta. Loput kuvat voi antaa asiakkaalle esimerkiksi muistitikulla yms.</p>

6 SÄHKÖTYÖTURVALLISUUS SÄHKÖLAITTEIDEN LÄMPÖKUVAAMISESSA

6.1 Sähkölaitteistojen lämpökuvaamisessa tärkein asia

Sähkölaitteiden kuvaamisessa tärkeimmät asiat, jotka tulee ottaa huomioon ovat sähköturvallisuus, kuormituksen huomioiminen sekä mitattavan kohteen lämpösäteilykyky eli aiemmin opittu emissiivisyys. *Huomataan että sähköturvallisuus on ensimmäinen huomioitava asia ja siitä ei voi poiketa missään tilanteessa.* (Hietanen, Tiainen, Alhainen, Rousku & Kari 2017, 78)

6.2 Sähkötyöturvallisuus lämpökuvaamisessa

Toisin kuin muissa lämpökamerakuvauksissa on huomioitava, että sähkölaitteiden kuvaamisessa kohdistuu lämpökuvaus aina virrallisiin järjestelmiin tai laitteisiin ja näin ollen täytyy aina ottaa huomioon sähköiskun sekä valokaaren vaara. Näihin voi vaikuttaa ottamalla lämpökuvat riittävän turvallisen matkan päästä jännitteisistä osista. Mahdollisten suojalevyjen tai ovien avaaminen tai poistaminen lämpökuvaamista varten tulee hoitaa vain sähköalan ammattihenkilö. (Hietanen, Tiainen, Alhainen, Rousku & Kari 2017, 78)

On myös olemassa lämpösäteileviä ikkunoita eli infrapunaikkunoita, joilla voidaan lisätä turvallisuutta. Tällöin lämpökuvauksen pystyy suorittamaan ilman suojien avaamista mikä mahdollistaa kuvaamisen ilman suoraa kosketusmahdollisuutta jännitteisiin osiin. (Hietanen, Tiainen, Alhainen, Rousku & Kari 2017, 78)

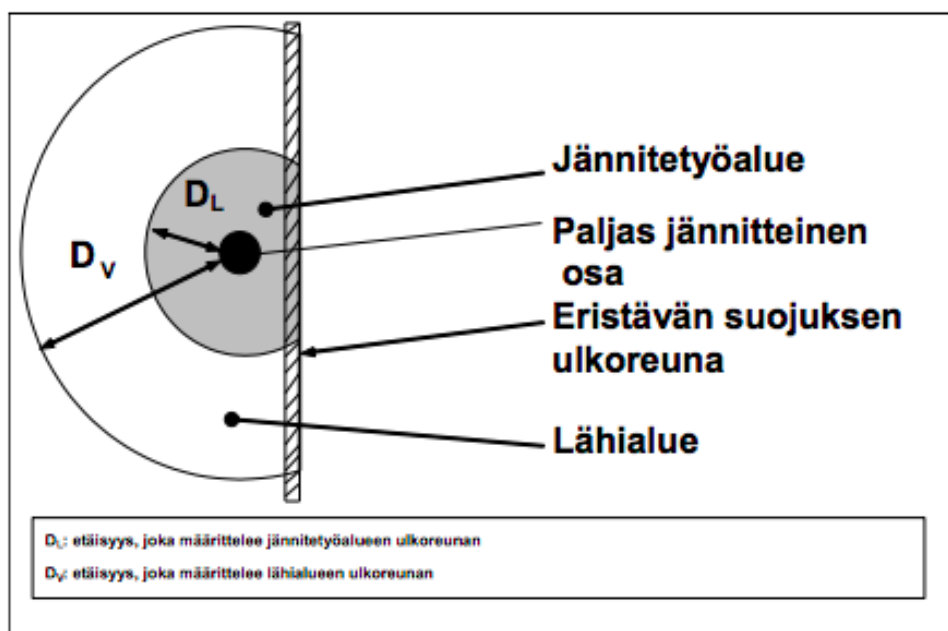
6.3 Jännitetyöalueen huomioiminen

Etenkin sähkölaitekuvauksissa tulee ymmärtää jännitetyöalue sekä siihen liittyvät asiat ja säännöt. LK 1- luokan kuvaaja on sähköalan ammattihenkilö, jonka on käytettävä tarvittavia henkilökohtaisia suojavälineitä poistaessaan suojuksia jännitteisistä kohteista. Kuvaaja, joka on myös sähköalan ammattihenkilö, joutuu kuvauksen aikana

menemään jännitetyöalueelle, jolloin hänen pitää ottaa käyttöön jännitetyössä tarvittavat suojavälineet. Tällöin kuvaajan on mahdollista joutua lähelle jännitteisiä osia kuvauksen tai siihen liittyvien tehtävien takia. Tässä kohtaa on myös hyvä sanoa, että LK 2-luokan omaava kuvaaja *ei saa* ulottua kuvausta tehdessään jännitetyöalueelle keuhonsa osilla tai edes työkaluillaan. (ST 53.62 2019, 7)

6.3.1 Jännitetyöalue

Jännitetyöalue voidaan määrittää tilalla jännitteisten osien ympärillä, johon ulottuessa tai tunkeuduttaessa sähköiskun vaara on suuri eli sähköiskun välttämiseksi ilman suojaustoimenpiteitä eristystaso ei ole riittävä. Voidaan todeta, että järjestelmissä, joissa jännite on alle 1000 voltia, on lähialueen ulkoraja 0,5m eli 50cm paljaasta jännitteisestä osasta. DL on etäisyys, joka määrittelee jännitetyöalueen ulkoreunan ja D_v on etäisyys, joka määrittelee lähialueen ulkoreunan, jonka avulla voidaan määrittää jännitetyöalueen ja lähialueen ulkorajat. Jännitetyöalue voidaan rajata eristävällä suojuksella. Edellä olleet asiat nähdään selvemmin kuvan 3 ja kuvan 4 avulla. (Nurmi 2015, 35)



Kuva 3. Jännitetyöalueen mitta. (Nurmi 2015, 38)

Nimellisjännite U_N kV	Jännitetyöalueen ulkorajan mitta D_{L1} m	Jännitetyöalueen ulkorajan mitta ilmajohdoilla ¹ D_{L2} m
≤1	ei kosketusta	0,5
3	0,22	1,5 (1,0)
6	0,25	1,5 (1,0)
10	0,35	1,5 (1,0)
20	0,4	1,5 (1,0)
30	0,56	1,5 (1,0)
45	0,63	1,5 (1,0)
110	1,0	1,5 (1,2)
220	1,6	2,0
400	2,5	3,5

¹ Ilmajohdoilla suluissa oleva arvo tarkoittaa etäisyyttä suoraan jännitteisen osan alapuolella.

Kuva 4. Jännitetyöetäisyydet. (Nurmi 2015, 39)

6.3.2 Jännitetyö

Jännitetyö on työ, jossa työn tekijä ulottuu jännitetyöalueelle kehonsa osilla, varusteilla, työkaluilla tai laitteilla, joita hän käyttää sekä tekijä tarkoituksellisesti koskettaa jännitteistä osaa. Pienjännitteellä ja suurjännitteellä on selkeä ero, milloin tehdään jännitetyötä. Pienjännitteellä tehdään jännitetyötä koskettaessa työvälaineellä jännitteisiä osia, kun taas suurjännitteellä jännitetyötä tehdään, kun tekijä ulottuu jännitetyöalueelle riippumatta koskettaako tämä paljaita jännitteisiä osia vai ei. (Nurmi 2015, 35)

7 SÄHKÖLAITTEISTON LÄMPÖKUVAUKSEN SUORITTAMINEN

7.1 Sähkölaitteiden kuvaamisessa tarvittavat varusteet

Toisin kuin toisien kohteiden lämpökuvaamisessa riittää yleensä itse kamera mutta sähkölaitteiden kuvaamisessa on varusteet oltava sähkötyöturvallisuuden mukaiset. Niiden avulla pääsee lähtemään työpäivän jälkeen samassa kunnossa kotiin, mitä oli töihin tullessaankin. Varusteet, joita tarvitaan sähkölaitteiston kuvaamisessa, löytyy sähköalan ammattilaiselta jo valmiina. Sähkölaitteiston kuvaamiseen tarvittavat välineet ovat: (Hietanen, Tiainen, Alhainen, Rousku & Kari 2017, 78)

- Lämpökamera, sekä myös digikamera, jos ei lämpökameralla saa digikuvia.
- Jännitteenkoetin.
- Virran mittaamiseen tarvittava väline esimerkiksi pihtiampeerimittari.
- Yleismittari.
- Jännitetyökäsineet.
- Jännitetyökalut.
- Valokaarivaarallisen työn suojarusteet, jos kohteessa on valokaarivaaraa.
- Heijastinsuoja esimerkiksi eristeaineisia suojamattoja, joita käytetään jännitteissä.

Kuormitusvirtaa mittaaminen on suoritettava luotettavalla laitteiston mukaisen jännitekestoisuuden kestäväällä mittalaitteella. Joihinkin lämpökameroihin on saatavilla myös langattomasti liitettäviä virtapihtejä, jotka tallentavat kuvaushetkellä mitatun virran lämpökuvaan. (Hietanen, Tiainen, Alhainen, Rousku & Kari 2017, 73)

7.1.1 Vaatimuksia sertifioidun lämpökuvaajan laitteistolle

Seti Oy asettaa omat vaatimuksensa sertifioidulle lämpökuvaajan laitteistolle. Sähkölaitteiden kuvaamisessa tulee lämpökamera olla sähkölaitteiden kuvaamiseen soveltuva sekä sen on oltava mittaava. Eli pitää olla ainakin yhden pisteen lämpötila nähtävissä näyttöruudulta. Mutta pitää olla myös mahdollista mitata lämpötila-arvot koko kuvan alueelta jälkikäteen tietokoneohjelman avulla. Kuva-aineistot tulee säilyttää sähköisessä muodossa. Jo aikaisemmin käyty asia, mutta kameran tarkkuus tulee olla

$\pm 2^{\circ}\text{C}$, kun mitataan alle 100°C lämpötiloja ja $\pm 2\%$ tarkkuus, kun mitataan yli 100°C lämpötiloja. Lämpötilojen tulee olla mitattavissa vähintään 0.1°C asteen välein. Pikselimäärän on oltava vähintään 19200 sekä yhden pikselin koon tulee olla 30mm^2 yhden metrin etäisyydellä kuvattaessa. Lämpökamerassa tulee olla myös mahdollista emissiivisyyden sekä heijastuneen taustasäteilyn korjausten tekemiseen esimerkiksi jälkikäteen tietokoneen avulla. (Hietanen, Tiainen, Alhainen, Rousku & Kari 2017, 75)

IR-mittarit eivät sovellu viralliseen lämpökuvaukseen. Mittarista kun ei saada lämpökuvaa. Kuten aiemmin jo todettiin, että mittaus perustuu kyllä perusteorialtaan lämpökameraan, mutta riippuen etäisyydestä kohteeseen on mittauskeila sekä mittausalue sitä suurempi, mitä kauempana kohteesta ollaan. IR-mittari kun mittaa keilan koko alueelta keskilämpötilan, jolloin tulos saattaa olla hyvinkin erilainen ja vääristynyt kaukaa mitattaessa. Oleellista on käyttää vain sähkölaitteisiin soveltuvaa lämpökameraa. (Hietanen, Tiainen, Alhainen, Rousku & Kari 2017, 75)

7.1.2 Lämpökameran kalibrointi

Lämpökameran tarkkuus tulee tarkistaa vähintään kahden vuoden välein ja kalibroinnin tulee teettää asianmukaisessa yrityksessä sekä valmistajan ohjeiden mukaan. Kalibrointia voi myös tarkastella itse vertailemalla kalibroituun laitteistoon, mutta tämä on vaikeaa. On siis syytä kääntyä tässä ammattilaisten puoleen, jolloin tietää, että laite on varmasti kunnossa. (Hietanen, Tiainen, Alhainen, Rousku & Kari 2017, 75)

7.2 Lämpökuvauksen valmistelu sähkölaitekuvauksissa

Laitteiston haltijan kannalta katsottuna on syytä tilata lämpökuvaus ammattitaitoiselta lämpökuvaajalta. Seti Oy:n sertifioima LK 1- tai LK 2- lämpökuvaaja on turvallinen vaihtoehto sillä nämä ovat osoittaneet osaamisensa SETI:n järjestämässä tutkintotilaisuudessa ja on näin hyvä ja turvallinen valinta. Ja kun mietitään sähkölaitekuvaamista, on näistä kahdesta hyvä valita LK 1 -luokan pätevyystodistuksen omaava henkilö sillä hän on sähköalan ammattihenkilö. LK 2 -luokan pätevyyden omaava henkilö ei ole sähköalan ammattilainen, joka tuottaa hankaluutta sähkölaitteiden kuvaamisessa, sillä

hän ei voi itsenäisesti tehdä sähkölaitteiden lämpökuvauksia. Tällöin myös sähköalan ammattilaisen tulisi olla mukana laadittaessa raporttia. LK 2 –luokan pätevyys ei ole myönnetty kuitenkaan enää 21.9.2017 jälkeen. (Hietanen, Tiainen, Alhainen, Rousku & Kari 2017, 76)

7.2.1 Sähkölaitteisto kuvaushetkellä

On hyvä huomioida, että sähkölaite on kuvaushetkellä sellaisessa kuormituksessa, että kuvauksessa saavutetaan todellisia tuloksia. Myös kaikkiin kuvattaviin kohteisiin tulee olla pääsy kuvausajankohtana. On myös erittäin suositeltavaa, että tilaajan puolelta on henkilö kuvaajan mukana, joka tuntee paikat ja laitteistojen käytöt riittävän hyvin. (ST 53.62 2019, 7)

7.2.2 Sopimus

On hyvä tehdä kirjallinen sopimus sähkölaitekuvauksesta. Lämpökuvauksesta on hyvä tiedottaa ainakin kuvattavan kohteen käytöstä vastaavalle henkilölle. Käyttäjätiedotteessa tulee olla esillä ainakin seuraavat asiat: (ST 53.62 2019, 7)

- Kaikkiin kuvattaviin kohteisiin ja laitteisiin tulee olla esteetön pääsy tilaajan toimesta. Kuvattavat kohteet on hyvä eritellä tiedotteessa, jos niiden kuvaaminen edellyttää joitakin erityisvalmisteluja tai laitteistojen käytön kannalta ennakoivalmisteluja.
- Kuvattavan laitteiston tulee olla normaalilla käytöllä eli vähintään 40 % nimelliskuormituksesta. Lisäksi laitteen tulisi olla ollut käytössä vähintään puoli tuntia.
- Kuvausajankohdat sekä kesto tunnin tarkkuudella.

7.3 Kuvausolosuhteet ja niiden huomioiminen

Ennen kuvaamisen aloittamista on hyvä tarkistaa olosuhteet kuvattavassa kohteessa. Tämä on tosi tärkeää ulkoilmakuvauksissa tai siihen verrattavissa kuvauksissa, jossa on hyvissä ajoissa selvitettävä ulkoilman tiedot. Nämä on helpoin tarkistaa säätiedoista

kyseisen paikkakunnalta ja siitä lähimmän sääaseman tarkkuudella. Mitkä tiedot sitten on hyvä tarkistaa? Tässä muutama esimerkki, jotka tulee tarkastaa: (ST 53.62 2019, 8)

- Tuulen nopeus sekä sen suunta.
- Lämpötila.
- Säätila yleisesti eli onko sateinen, pilvinen, ym.

Sähkötiloissa ei tarvitse ottaa ulko-olosuhteita huomioon, joten siellä riittää sen kohteen lämpötilan selvitys. Mutta esimerkiksi tehtaalla voi olla isoja nosto-ovia, jotka ovat auki. Silloin on hyvinkin tärkeää katsoa, millainen keli ulkona on. Esimerkiksi tuulinen päivä ja on mittaamassa sähkömoottoreita tehtaan prosessitilassa, jossa on nosto-ovet auki voi syntyä suuri läpiveto, mikä riittää jo vääristämään mitattuja tuloksia. Tämä on tärkeä ottaa huomioon ja yrittää välttää tällaisessä tilanteessa lämpökuvaamista. (Hietanen, Tiainen, Alhainen, Rousku & Kari 2017, 77)

7.4 Virran mittaaminen ja laitteiston kuormitus

Sähkölaitekuvauksissa kuormitusvirrat kohteista mitataan ja raportoidaan aina. Mittaus on tehtävä luotettavalla ja laitteiston mukaisen jännitekestoisuuden omaavalla mittalaitteella. Esimerkiksi pihtiampeerimittarilla. On myös olemassa pihtiampeeri tyyppisiä mittareita, joilla saadaan mitattua virrat kohteella ja lähetettyä wifin avulla se suoraan lämpökameralla otettavaan lämpökuvaan. Tämä tuo selkeyttä ja nopeuttaa kuvaamista sekä raportointia. (ST 53.62 2019, 8)

Laitteisto kuvaushetkellä tulee olla normaalilla kuormalla tai vähintään 40 % maksimikuormituksesta. Tämän lisäksi kuormituksen tulee olla ollut vähintään puolituntia päällä, jotta saadaan todelliset mittaustulokset kuvaushetkellä. (ST 53.62 2019, 8)

7.4.1 Kuormitusvirta

Kuormitusvirralla on suuri vaikutus mittaustulokseen, sillä kuormitusvirta vaikuttaa neliöllisesti lämmittävään tehoon ja siksi pienellä virran muutoksella on suuri vaikutus lämpötilaan. Tämä on vielä tärkeämpää huomioida pienillä virroilla, jolloin lämpöti-

laerot voivat olla merkittävimpiä. *Eli lyhyesti ja selkeästi, kun kuormitusvirta kaksinkertaistuu, nousee lämpötila samalla nelinkertaiseksi.* Tämä on siis erittäin tärkeä ymmärtää lämpökuvauksia tehdessä. (ST 53.62 2019, 8)

7.5 Lämpökuvauksen suorittaminen

Sähkölaitteiston haltijan tulee huolehtia siitä, että laitteiston turvallisuutta ja kuntoa tarkkaillaan sekä havaitut puutteet ja viat tulee poistaa riittävän nopeasti. Järkevintä laitteiden toiminnan kannalta olisi suorittaa lämpökuvaukset säännöllisesti. Sopiva kuvausväli riippuu laitteistosta, jota kuvataan, mutta aina ensimmäisen kerran laitteisto tulisi kuvata heti käyttöön yhteydessä siten että se on jo normaalissa kuormitus tilanteessa. Tämän jälkeen laitteistosta riippuen noin kolmen vuoden välein. Mutta kun tässä työssä tutkitaan teollisuuden sähkökunnossapidon kannalta, niin olisi hyvä kuvata 6kk...12kk välein ja jos huomataan jotain poikkeavaa niin vieläkin tiheämmin, kunnes kohteelle on tehty korjaavat toimenpiteet. Teollisuudessa olisi hyvin tärkeää pitää lämpökuvauksia ihan ennakkohuollossa tietyssä kierrossa, jolloin kuvaukset tulee tehtyä ja kirjattua ylös. Tällöin eri ajalta otettujen kuvien vertaaminen ja analysointi on mahdollista. (Hietanen, Tiainen, Alhainen, Rousku & Kari 2017, 75)

Kun lämpökuvataan, on siinä tärkeää käydä kohteet järjestelmällisesti läpi. Jos ja kun löytyy jokin ongelmakohta kuvattavista kohteista, käydään tämä kohde erittäin tarkasti läpi, sekä kuvataan perusteellisesti. Kun kuvataan samanlaisia komponentteja tai laitteita, ei tällöin ole tarkkojen lämpötila-arvojen saaminen välttämättä tärkeintä. Vaan tällöin pystytään vertamaan kuvattavia kohteita toisiinsa. Jos jossakin on muihin komponentteihin tai laitteisiin nähden huomattava lämpötilaero, on silloin yleensä aiheutta ottaa tämä tarkempaan tutkintaan ja usein siitä myös löytyy jotakin poikkeuksellista. Eli lyhyesti voidaan sanoa, että sähkölaitteiden lämpökuvauksissa etsitään enemmänkin lämpötilaeroja, joihin ei ole kuormituksesta, vino kuormituksesta tai muusta ulkoisesta tekijästä johtuvaa selitystä. (Hietanen, Tiainen, Alhainen, Rousku & Kari 2017, 80)

7.5.1 Kohteen yksilöinti

Ensimmäiseksi kun pääsee kohteelle, tulee ottaa yleiskuva koko tilasta oman turvallisuuden vuoksi. Mutta kun aloittaa itse kohteiden kuvaamisen on hyvä ottaa digikuvan kohteesta. Tämä on helpoin ottaa kuva lämpökameralla, jos se ottaa automaattisesti myös digikuvia. Esimerkiksi keskus kuvauksissa on hyvä ottaa kuva mistä selviää keskustunnus sekä eri lähtöjen osalta positio/tunnus, lähdön nimi tai tms. Tämä mahdollistaa ja yksilöi seuraavaksi otettavan lämpökuvan, mikä helpottaa raporttia tehdessä tunnistamaan mistä kohteesta kuvat on otettu. Kuitenkin on muistettava, että digikuva tarvitsee valoa toisin kuin lämpökuva, niin on hyvä varmistaa riittävä valon määrä kohteessa ennen kuvaamista. Joissakin lämpökameroissa on integroitu taskulamppu helpottamaan pimeässä otettavia digikuvia, mutta tällöin on muistettava mahdolliset valokaarisuojat virheellisten laukaisujen estämiseksi. (Hietanen, Tiainen, Alhainen, Rousku & Kari 2017, 81)

7.5.2 Mahdollisten suojausten poistaminen

Kun lämpökuvataan on muistettava, että lämpökuvaus on mahdotonta suojien läpi. Esimerkiksi pleksin, joita paljon käytetään sähkölaitteissa kosketussuojana. On nämä siis poistettava todellisen lämpökuvan takia, mutta suojien poistamisessa on muistettava *turvallisuus ja tarpeelliset varusteet suojien poistamisessa*. Jos kohteella tehdään kuvausta usein esimerkiksi enakkohuollon takia voisi kohteessa soveltaa IR-ikkunaa, josta voidaan lämpökuvata kohde turvallisesti ja nopeasti. Jos suojan tai kotelon pinta on kuuma, on sen alla paljon korkeampi lämpötila, jolloin on syytä noudattaa suurta varoivaisuutta kohteessa. (Hietanen, Tiainen, Alhainen, Rousku & Kari 2017, 82)

7.5.3 Kohteen virtojen mittaaminen

Sähkölaite lämpökuvaamisessa on kuormitusvirtojen mittaaminen välttämätön osa itse kuvausta. Kuormitusvirtojen mittaaminen tehdään kaikista olennaisista pisteistä sekä myös komponenttien molemmilta puolilta. On tärkeää merkata tulokset muistiin niin, että niitä on helppo tulkita jälkeen päin sekä helppo yksilöidä kuvattavana olleeseen kohteeseen. Tätä helpottamaan on mahdollista käyttää pihtiampeerimittarin tyyppistä

laitetta, jolla saadaan wifin avulla lähetettyä virta-arvot suoraan lämpökuvaan. Tämä tuo helppoutta, nopeutta sekä vähentää virheiden mahdollisuutta merkkauksissa ja tulkinnoissa. (Hietanen, Tiainen, Alhainen, Rousku & Kari 2017, 84)

7.5.4 Sopiva lämpötila-asteikko

Usein käytetään automaattista lämpötila-asteikkoa. Tämä on erittäin helppo käyttää, mutta ei aina kuitenkaan järkevintä. Automaattinen lämpötila-asteikko skaalaa aina kuvan maksimi ja minilämpötilojen mukaan oli niiden erot miten pienet tahansa. Eli kuvassa näkyy aina kylmiä ja lämpimiä kohtia vaikka lämpötilaerot olisivat kuinka pienet tahansa. Tällöin voi tulla helposti vääriä analysointeja, että kohteessa olisi vikaa. Tällöin todellisuudessa kylmimmän ja kuumimman kohteen lämpötilaero voi olla vain muutama aste, mutta kuumin kohta on kirkkaan punainen, jolloin voidaan luulla, että kohteessa on vikaa, kun ei huomata katsoa lämpötila-asteikkoa. Joskus siis on parempi käyttää manuaalista skaalausta, mutta siinäkin on oleellista, ettei valitse liian kapeaa asteikkoa. Sitä kun ei pysty enää raportissa laajentamaan, vaikka muuten pystyykin hieman säätämään. (Hietanen, Tiainen, Alhainen, Rousku & Kari 2017, 85)

7.5.5 Kohteen kuvaaminen oikeasta suunnasta sekä kohdasta

Niin kuin ennenkin jo selvisi, että lämpökamera ei mittaa lämpötilaa, koska maailmassa mikään ei mittaa suoraan lämpötilaa, vaan lämpökamera mittaa infrapunasäteilyn määrää mitä kohde lähettää. Tämän lämpökamera muuttaa lämpötilatiedoksi, josta muodostuu digitaalisesti lämpökuva. Tämä on koko ajan pidettävä mielessä kuvauksia tehdessä.

Tämän takia on erittäin tärkeää huomioida mistä kohdasta mittaa sillä emissiokerroin olisi hyvä olla lähellä 0,95, jotta saataisiin luotettava tulos. Eli olisi hyvä aina kuvata kohteista, joissa ei ole kiiltäviä pintoja. Esimerkkejä hyvistä pinnoista on sähköteippi, muovi, kumi, maalit, posliini sekä useimmista eristeistä. Tällaisista kohteista, kun mittaa on mittaukset luotettavia ja näin pystytään tekemään vertailtavia mittauksia. Jos mitattaisiin alhaisilta emissiokertoimen omaavilta pinnoilta eli kirkkailta pinnoilta, on

kohteessa ympäristöstä tuleva heijastuma liian suurta ja vääristää näin tuloksia. Emissiokerroinhan ilmaisi sitä miten paljon kyseinen kappale kokonaissäteilyyn verrattuna säteilee itse ja miten paljon siitä tulee ympäristöstä heijastumina. Kamerasta kyllä pystyy säätämään emissiokertoimen, mutta mittauksen luotettavuus laskee, emissiokertoimen laskiessa ja alle 0,60 emissiokertoimella oleva kohde on erittäin epäluotettava kohde kuvata. Parhain olisi pystyä kuvamaan noin 0,95 emissiokertoimella olevilta kohteilta. (ST 53.62 2019, 6)

Esimerkiksi sähköteipissä on noin 0,95 emissiokerroin, jolloin siitä on erittäin hyvä ja luotettava mitata. Teippi on usein helppo laittaa kohteeseen, jota halutaan kuvata. Tässä on kuitenkin muistettava aina sähköturvallisuus, mutta esimerkiksi seisokissa tai muussa tehtaan pienessä seisokissa, jossa voi kohteen ottaa jännitteettömäksi voisi lisätä teipin haluttuun kohteeseen. Tästä pystyy sitten myöhemmin aina kuvamaan ja on näin ollen varma paikka saada luotettavia ja vertailukelpoisia mittaustuloksia. Periaatteessa teipin voi laittaa jännitteisenäkin jännitetyönä ja jännitetyövarusteita käyttäen, mutta suosittelen kuitenkin tekemään tällaiset lisäykset jännitteettöminä. Maali on myös paikka, josta on hyvä lämpökuvata, mutta jos sitä laittaa kohteisiin on muistettava mahdollinen maalin sähkönjohtavuus ja onko tällöin sopiva kohteeseen. Maalin värillä ei ole merkitystä emissiokertoimeen. Eli mikä vaan väri käy lämpökuvaukseen. Sama tilanne myös sähköteipeissä, että sähköteipin värillä ei ole väliä. (ST 53.62 2019, 11)

7.5.6 Kuvausetäisyydet sekä mahdolliset heijastumat

Paras neuvo siihen, jos epäilee itse, onkohan kyseessä heijastuma vai ei, on liikkua hieman johonkin suuntaan. Jos samalla kuuma kohta muuttaa paikkaa on kyseessä heijastuma. Mutta jos kuuma kohta ei liiku eli ei vaihda paikkaa on se tällöin oikeasti kuuma kohta ja tarvitsee lisää tutkimista. Kuvauskulma kohteeseen olisi hyvä olla noin 15°...45° vaiheilla, sillä jo 60° alkaa emissiokerroin muuttua ja 90° se on nolla. Kun kuvaa kohtisuoraa tulee kuvaaja itse lämpöheijastumana kuvaan, joka vääristää tuloksia sekä on hyvä tarkkailla ympärilleen mahdollisia muita kohteita, mistä voi tulla virheellistä lämpöheijastumaa kuvaan esimerkiksi valaisimet tms. On kuitenkin olemassa lisäsuojia heijastumia vastaan, jotka voivat helpottaa hyvän lämpökuvan saamiseen

tietyissä kohteissa. Esimerkkinä tällaisesta eristeaineisia suojista ovat kumimatot, joiden avulla pysytään poistamaan kohteen ulkopuolelta tulevia heijastuma. (Hietanen, Tiainen, Alhainen, Rousku & Kari 2017, 87)

Kuvaus etäisyys on myös tärkeä huomioida. Ensin on hyvä ottaa niin sanottu yleiskuva, mutta jos siinä löytyy jotakin huomion arvoista, on hyvä ottaa silloin kuva lähempää ja tarkemmin. Tällöin siitä näkee juuri sen kohteen, missä mahdollinen vika on. Tämä nopeuttaa korjaajan tai huoltajan työtä sekä lisää hänen turvallisuuttaan tietämällä täsmällisesti, mikä ja missä viallinen kohde on.

7.5.7 Kuvan analysointi kuvatessa

Kuvien analysointi tapahtuu jo heti lämpökuvaa otettaessa. Tämä mahdollistaa sen, että jokaisesta kuvasta ei tarvitse tehdä raporttia vaan on hyvä tehdä niistä missä on poikkeamaa tai kaipaa muuta mahdollista lisä selvitystä. Näin tilaaja tietää, että raportissa olevat kohteet tarvitsevat lisää tarkastelua tai mahdollisesti nopeitakin toimenpiteitä. Loput kohteet, joista ei havaittu suurempia muutoksia on hyvä antaa tilaajalle, vaikka muistitikulla- tai kortilla. (Hietanen, Tiainen, Alhainen, Rousku & Kari 2017, 87)

Niin kuin tuossa aiemmin todettiin, että ensimmäinen analysointi tehdään jo kuvatessa. On siis muistettava, että on selvitettävä jokainen lämpötilaeron syy tai aiheuttaja. Eli mikä on syy ja mikä on seuraus havaitulle ongelmalle. Pienikin lämpötilaero voi kertoa ongelmasta tai viasta kohteesta riippuen. Voidaan kuitenkin antaa nyrkkisääntönä, että *kahden samanlaisen sekä samankaltaisella kuormituksella olevan sähköisen komponentin lämpötilaero ei saa ylittää 15°C, eikä lämpötilaero sähköisen komponentin ja ympäröivän ilman välillä saa ylittää 30°C*. Kuitenkin kuvaamisessa ja analysoinnissa tulee aina ottaa kohde ja ympäristö huomioon. (Hietanen, Tiainen, Alhainen, Rousku & Kari 2017, 87)

7.6 Raportti

Raportti on dokumentti mittauksista ja tuloksista, joita tehtiin. Raportti tehdään laitteiston halijalle ja on muistettava se, että laitteiston haltijan on pystyttävä siitä tulkitsemaan laitteen tila sekä mahdolliset korjaustoimenpiteet. Raportissa olevat kuvat pitää olla selkeitä ja tarkkoja eikä niin, että ilman selventävää tekstiä ei tiedä mitä kuvassa on. Raportin on oltava selkeä ja sieltä on löydettävä tarpeellinen tieto helposti. (ST 53.62 2019, 12)

Lämpökuvia on hyvä ottaa paljon, mutta kaikkia ei kannata kuitenkaan laittaa raporttiin. Raportissa on hyvä olla ne kuvat, joissa on aihetta tehdä toimenpiteitä tai on muuta huomioitavaa. Loput kuvat voi antaa muistitikulla tai kortilla tilaajalle. Lämpökuvauksen tekevä sertifioitu yrityksen tulee säilyttää tarkastusraportit vähintään viiden vuoden ajan. Samoin kuvat tulee säilyttää vähintään viiden vuoden ajan sähköisessä muodossa. (Hietanen, Tiainen, Alhainen, Rousku & Kari 2017, 100)

Raporttia tehdessä pystyy hieman säätämään kuvaa ja väripalettia sopivaksi mutta se on muistettava, että kuvan tarkennusta ei pysty enää säätämään. *Tarkkuus tulee olla kuvaushetkellä oikein säädetty.* Kuvat annetaan usein maallikolle, joten kuvien tulee olla sellaisia, että niistä ymmärtää missä on mahdollinen vika paikka. Myös erimielisyyksien takia on hyvä miettiä millaisen kuvan laittaa. Esimerkiksi kuvassa näkyy kirkkaan punaista, mutta silti sanotaan, että kuvassa on kaikki hyvin. Maallikolle tai sellaiselle, joka ei tiedä aiheesta niin paljon pelästyy ja lähtee heti tekemään toimenpiteitä, vaikka raportissa sanotaan kaiken olevan hyvin. On siis hyvä yrittää miettiä raportin saajan kannalta, millainen on hänelle hyvä raportti, ettei tule turhaa selvittävää tai tehdä turhia asioita. Olisiko esimerkiksi hyvä säätää kuva siten, että vain mahdollinen viallinen kohta erottuu. esimerkkejä mitä on hyvä miettiä kuvaa käsiteltäessä: (Hietanen, Tiainen, Alhainen, Rousku & Kari 2017, 100)

- Tunnistaako kuvasta laitteen tai laitteiston mistä kuva on tai mistä kohtaa laitetta kuvassa on kysymys.
- Miten kuvassa saa esitettyä haluamansa asiat eli usein ne mitkä vaativat huomiota.
- Olisiko selvempi, jos lämpökuvan vieressä olisi myös digitaalinen kuva kohteesta.

7.6.1 Mitä raportissa tulee olla

Seti Oy asettaa vaatimuksia sertifioidun kuvaajan tekemään raportin sisältöön. Tässä on vaatimuksen mukaan tiedot, jotka tulee olla lämpökuvausraportissa kirjattuna. Tiedot on poimittu (Hietanen, Tiainen, Alhainen, Rousku & Kari 2017, 103.) kirjasta.

”Kansilehti

- lämpökuvauksen tehneen yrityksen nimi ja yhteystieto
- raportin laatijan nimi ja pätevyystodistuksen numero
- lämpökuvauksen tilaaja sekä sen yhteystiedot ja yhteyshenkilö
- lämpökuvauksen aika ja paikka

Sisällysluettelo

Jokaisen lämpökuvan yhteydessä:

- lämpökuvan ottajan nimi ja pätevyystodistuksen numero - jos kohteilla on useampi kuvaaja, muuten tämä tieto riittää esitettynä raportin kansilehdellä
- käytetyn kameran malli, sarjanumero sekä tieto käytetystä optiikasta
- kuvauskohteen yksilöinti
- lämpökuvan päivämäärä ja aika
- hetkelliset kuvauksen aikana mitatut kuormitusvirrat
- kuvaustilan sisäilman lämpötila
- kuvausetäisyys metrin tarkkuudella
- käytetyt emissiokertoimet ja taustalämpötilat piste- tai aluekohtaisesti
- käytetty lämpötila-asteikko ja väriskaala
- digitaalinen kuva ja lämpökuva vain havaituista poikkeamista. Kuvaajan/tilaajan tulee kuitenkin säilyttää kaikki kohteesta otetut kuvat vähintään viiden vuoden ajan digitaalisessa muodossa. Tämä mahdollistaa vertailukohdan tulevaisuuden lämpökuvauksille.

Ulkona otetuista kuvista esitettävä seuraavat asiat:

- tuulen nopeus ja suunta kuvatusta kohteesta
- säätila esimerkiksi pilvinen, sateinen, tms.
- ulkolämpötila
- todetun vian analysointi ja korjausehdotus sekä korjauksen kiireellisyys

Raportin lopussa lisäksi:

- yhteenveto, josta tulee selvitä toimenpiteitä vaativat kohteet riittävän selvästi
- asiakkaan kanssa mahdollisesti sovittu uusintakuvauksen ajankohta”

8 OHJEISTUS KUVATTAVIEN LAITTEIDEN KUVAAMISEEN

Kun lähdetään kuvaamaan, on oltava tähän ensinnäkin lupa lämpökuvaajalla sekä varmuus kuormitus tilanteesta, jotta saadaan todelliset mittaustulokset. Luvan saannin jälkeen ollaan valmiina kaikkien varusteiden kanssa menemään kuvauksen suoritus paikalle. Siellä otetaan yleiskatsaus paikasta ja tehdään vaarojen arviointi mahdollisista vaaroista sekä keskitetään ajatukset itse työhön eli lämpökuvauksen tekemiseen. Lisäksi lämpökuvaamisessa on hyvä pitää tietty järjestys otetuissa lämpökuvissa, sillä ilman sitä tulee ongelmaksi, että ei tiedetä mistä kohteesta kuvat on otettu ja näin kaikki kuvaukset on aloitettava alusta. Kuvauksien jälkeen tulee myös tehdä hyvä raportti mahdollisista poikkeamista sekä muiden kuvien tallennus systemaattisesti.

8.1 Lämpenemä ja lämpötilojen raja-arvoja

On olemassa yleisiä raja-arvoja eri komponenteille. *Nämä ovat kuitenkin suuntaa antavia arvoja eli näitä ei saa liian tiukkaa tuijottaa. Sillä jokainen kuvauskohde on oma tilanteensa, joihin vaikuttavat monet eri tekijät ja siksi jokainen kohde täytyy kuitenkin arvioida erikseen.* Nämä antavat kuitenkin hieman suuntaa erilaisista lämpötila-arvoista. Myös eri komponenttien valmistajat antavat mahdollisesti eri lämpenemät kohteille, jolloin on hyvä olla myös yhteydessä valmistajiin uusien vastaantulevien laitteiden kohdalla. Kokemus ja laitetuntemus tuo kuitenkin kuvaajalle tietynlaisen osaamisen, jolloin hän osaa huomioida kokonaisuuden ja tietää milloin on normaalia ja milloin on poikkeavaa lämpenemää. Eli kokemus opettaa tunnistamaan tilanteet, mutta aluksi näistä annetuista raja-arvoista voi olla hyötyä.

On tärkeää huomioida, kun lukee näitä raja-arvotaulukoita, joissa on kerrottu lämpötila raja-arvoja niin on ne annettu nimelliskuormalla oleville laitteille. Tämä on hyvä ottaa huomioon, jos laitetta käytetään alle nimelliskuormalla, on tällöin raja-arvo suhteessa pienempi.

8.1.1 Lämpenemä

Usein tulee eteen sana lämpenemä ja sillä tarkoitetaan komponentin lämpötilan nousua ympäristön lämpötilaan verrattuna. Usein ne annetaan Kelvineinä, mutta kelvineillähän on sama asteikkojako kuin celsiuksella, jolloin niitä voidaan tulkita suoraan celsius-asteina. (ST 53.62 2019, 4)

8.1.2 Sähkölaitteiden kosketeltavissa olevien osien lämpötila raja-arvoja

ST 53.62. Sähkölaitteistojen lämpökuvauksessa määritellään sähkölaitteiden kosketeltavissa oleville osille rajalämpötilat. (ST 53.62 2019, 10)

Toiminnan aikana kädessä pidettävä

- metalli 55°C
- muu 65°C

Osat, joihin on tarkoitus koskea, mutta ei pitää kädessä

- metalli 75°C
- muu 80°C

Osat, joita ei tarvitse koskettaa normaalissa käytössä

- metalli 80°C
- muu 90°C

Palovaarallisiin tiloihin palavalle materiaaleille asennettujen laitteiden sekä kalusteesseen asennettujen laitteiden pintalämpötilaksi määrittää SFS 6000 maksimissaan 90°C lämpötilan. (ST 53.62 2019, 8)

8.1.3 Keskuksen ja turvakytkimen komponenteille sekä johtimille annettuja lämpötilojen raja-arvoja

Sallitut kytkin ja ohjauslaitteiden lämpenevät määräytyvät tuotestandardien ja komponentin valmistajan antamien ohjeiden mukaan kunkin komponentin kohdalla. On kuitenkin otettava huomioon myös keskuksen sisätilan lämpötila. Usein on myös niin,

että sallittu lämpenemä ei olekaan komponenteille ja liittimille niiden oma sallittu maksimilämpötila, vaan se onkin siihen liitetyn johtimen eristeineen suurin sallittu lämpötila. Tällöin monessa kohteessa onkin hyvä pitää tietynlaisena raja-arvona PVC-eristeisen johtimen sallittua 70°C lämpötilaa, sillä sen ylittäminen voi aiheuttaa ongelmia komponenttiin liitetyissä johtimissa, vaikkei niinkään itse komponenteissa. (Hietanen, Tiainen, Alhainen, Rousku & Kari 2017, 39)

Turvakytkin on kuormakytkin, joka on koteloitu metalli- tai muovikotelolla. Keskuk- sessa voi olla taas kytkinvarokkeita tai kuormakytkimiä. Näille kuitenkin voidaan antaa sama noin -40°C - $+80^{\circ}\text{C}$ lämpötilahaarukka, jolla normaali toiminta on mahdollinen. On kuitenkin huomioitava, että kytkimien kuormaa on vähennettävä, jos ympäristön lämpötila nousee yli 40 asteeseen. Näille voidaan pitää maksimilämpötilana jat- kuvassa käytössä esimerkiksi tämä $+80^{\circ}\text{C}$. Vaikka komponentit tälläisen lämpötilan kestäisi, on sellaisen lämpötilan esiintyminen normaalissa sähkölaitteistossa poik- keuksellista ja vaatii kyllä lähempää tarkastelua. (Hietanen, Tiainen, Alhainen, Rousku & Kari 2017, 39)

Johtimille ja kaapeleille voidaan antaa lämpötila raja-arvoja niiden eristeen mukaan. Esimerkiksi PVC-eristeisen kaapeleiden annetaan kuormitettuna maksimi lämpöti- laksi 70°C vaipasta mitattuna, kun taas EPR- ja PEX-eristeisten kaapeleille se on 90°C johtimessa. Kaapeleille, joiden eristeenä on mineraali, voidaan sallia korkeampia läm- pötiloja kaapelin lämmönkestävyyden mukaan. Eli kun verrataan PVC päällystetyn kaapelin vaipan 70 asteen maksimilämpötilaa voi mineraalieristeisen kaapelin maksi- milämpötila vaipasta mitattuna olla 105°C , jos se ei ole kosketuksissa palaviin mate- riaaleihin eikä se ole muutenkaan kosketeltavissa. Riviliittimille sovelletaan myös lämpenemä arvoja, joita käytetään keskuksessa ulkoisien johtimien liittimillä. (Hieta- nen, Tiainen, Alhainen, Rousku & Kari 2017, 47)

Tehtaalla on käytössä tulppasulakkeita rakennus sähköistyksessä sekä kahvasulakkeita itse prosessilaitteiden syötöissä. Tulppasulakkeet tulee olla kiristetty varokekannella kireälle, sillä löysä kosketus lämmittää sulaketta. Myös ylikuorma voi lämmittää tulp- pasulaketta hyvinkin lämpimäksi. Kahvasulakkeita käytetään suuremmissa keskuk- sissa tai silloin kun tarvitaan suurta virrankatkaisukykyä. Kahvasulakkeet ovat kahva-

varokkeessa. Kahvasulake tulee vaihtaa vain siihen tarkoitettulla työkalulla, sillä tartuntapisteet voivat olla jännitteiset. *Kuitenkin vaihto täytyy tehdä virrattomana.* Huonosti asennettu kahvasulake voi lämmentä voimakkaasti ja pahimmassa tapauksessa sulattaa johdineristeet sekä kahvavarokkeen. Taulukoista 2 ja 3 näkee sallitut sulakkeiden lämpenemät sekä varokkeiden liittimien lämpenemät. (Hietanen, Tiainen, Alhainen, Rousku & Kari 2017, 40)

Taulukko 2, Sulakkeiden lämpenemät Kelvineissä. (ST 53.62 2019, 9)

Koskettimet	Jousikuormitteinen kosketin		Ruuvikiinnitteinen kosketin	
	Koteloi-maton	Kote-loitu	Koteloi-maton	Kote-loitu
Paljas kupari	40	45	55	60
Paljas messinki	45	50	60	65
Tinapäällysteinen	55	60	65	65
Nikkelipäällysteinen	70	75	80	85
Hopeapäällysteinen	Viereisten osien lämpötilan mukaan			

Taulukko 3, Liittimien lämpenemät Kelvineissä. (ST 53.62 2019, 10)

Liittimet	Koteloi-maton	Koteloi-tu
Paljas kupari	55	60
Paljas messinki	60	65
Tinapäällysteinen	65	65
Nikkelipäällysteinen	70	70
Hopeapäällysteinen	Viereisten osien lämpötilan mukaan	

8.1.4 Katkaisijat, releet, kontaktorit, moottorinsuojakytkimet ja lämpöreleiden lämpötilojen raja-arvoja

Katkaisijoita käytetään teollisuudessa paikoissa, joissa tarvitsee pystyä avaamaan ja sulkemaan nimellisvirralla tai moninkertaisesti nimellisvirtaa korkeammalla ylivirralla maa- tai oikosulikutapauksia. Katkaisijoille on esitetty lämpötilan nousu verrattuna ympäröivän ilman lämpötilaan taulukossa 4. (Hietanen, Tiainen, Alhainen, Rousku & Kari 2017, 42)

Taulukko 4, Katkaisijoiden sallitut lämpenemät Kelvineissä. (ST 53.62 2019, 9)

Osa	Lämpenemä K
Ulkopuolisten johtimien liittimet	80
Käyttöelimet	
Metallia	25
Muuta kuin metallia	35
Osat, jotka on tarkoitettu kosketeltaviksi, muttei pidettäväksi kädessä	40
Metallia	50
Muuta kuin metallia	
Osat, joita ei tarvitse koskettaa normaalikäytössä	50
Metallia	60
Muuta kuin metallia	

Johtojen, kaapeleiden ja laitteiden suojaukseen käytetään myös johdonsuojakatkaisijaa. Johdonsuoja katkaisijoille annetaan suurimmaksi sallituksi lämpenemäksi 40°C kosketeltavissa olevassa osassa. Taulukossa 5 on esitetty sallitut lämpenemät johdonsuojakatkaisijoille, joita ei saa nimelliskuormitusvirralla ylittää. (Hietanen, Tiainen, Alhainen, Rousku & Kari 2017, 43)

Taulukko 5, Johdonsuojakatkaisijan sallittu lämpenemä nimelliskuormalla Kelvineinä (ST 53.62 2019, 9)

Osa	Lämpenemä K
Liittimet ulkoisille liitännöille	60
Ulkoiset osat, joita todennäköisesti kosketellaan katkaisijan käsikäytön yhteydessä eristeaineiset käyttöelimet ja useiden napojen eristysaineisten käyttöelimiä yhteen kytkemiseen käytetyt metalliosat mukaan lukien	40
Käyttöelinten ulkoiset metalliosat	25
Muut ulkoiset osat kiinnitysalustaan suorassa kosketuksessa oleva katkaisijan sivu mukaan lukien	60

Melkein aina keskuksessa on myös rele tai kontaktori. Releessä annetaan kelalle jännite, joka saa releen koskettimet joko avautumaan tai sulkeutumaan riippuen releen tyypistä. Kontaktori toimii hiukan eri tavalla, sillä se on tarkoitettu päävirtapiiriin kytkemään tai katkaisemaan sähkölaitteen ottaman virran. Releessä ja kontaktorissa kela on usein kuumien kohta varsinkin kelan kyljessä, jossa on vain ohut muovikerros lämpenevän kelan edessä. Tämä ei välttämättä kuitenkaan tarkoita, että niissä olisi mitään vikaa. Uudemmissa kontaktoreissa on elektroniikkaa kontaktorin päällä, joka voi olla

myös yllättävänkin lämmin, vaikka ei mitään vikaa olisikaan. Näissä tilanteissa lämpökuvaajan pitää pystyä arvioimaan esimerkiksi virtamittauksen avulla onko kyseessä normaali lämpeneminen vai onko kyseessä vika. Näiden komponenttien lämpenemiin ja sallittuihin raja-arvoihin vaikuttaa suuresti komponentin koko, sen tyyppi sekä valmistaja. Näissä voidaan kuitenkin yleensä käyttää samoja raja-arvoja kuin mitä katkaisijoille on annettu. Mutta on kuitenkin hyvä selvittää valmistajalta komponentin tarkat lämpötila raja-arvot. (Hietanen, Tiainen, Alhainen, Rousku & Kari 2017, 44)

Moottorisuojakytкимиä ja lämpöreleitä on myös melkein kaikissa keskuksissa ja on ne myös hyvä aina kuvata. Niitä kuvatessa on erityisesti huomioitava niiden toiminta, sillä se perustuu bi- metalliliuskojen lämpenemiseen, jolloin ne saattavat näkyä jopa kymmeniä asteita ympäristöä lämpimämpinä. Tämä ei välttämättä kuitenkaan tarkoita sitä, että kyseessä olisi jokin vika. Tämä on vähän sama asia kuin releen ja kontaktorin kela, jotka näkyvät myös lämpökuvassa lämpiminä kohtina. Myös moottorisuojakytkimien ja lämpöreleen tapauksessa tulee kuvaajan osata arvioida esimerkiksi virranmittauksen avulla, onko kyseessä normaali lämpenemä vai onko kyseessä poikkeama eli jokin vika. Näihin voidaan myös yleensä soveltaa katkaisijoihin annettuja raja-arvoja, mutta näissä myös komponentin valmistaja, koko sekä tyyppi vaikuttaa suuresti sallittuihin lämpenemiin. On siis hyvä kysyä valmistajalta komponentin sallitut lämpötila raja-arvot. (Hietanen, Tiainen, Alhainen, Rousku & Kari 2017, 45)

8.1.5 Kondensaattoriparistoiden lämpötila raja-arvot

Isommissa tehtaissa niin kuin tälläkin kertaa on usein kondensaattoriparistoja, joiden avulla kompensoidaan loistehoa. Kondensaattoriparistoilla täytyy lämpenemiä tarkastella komponentti kohtaisesti. Kondensaattoriparistoiden lämpökuvaaminen on kuitenkin hyödyllistä, sillä kondensaattoriparistojen kondensaattorielementeissä on yleensä purkausvastukset. Näiden kunto pystytään lämpökuvaamalla laitteiston ollessa jännitteinen. *Tässä kohtaa on kuitenkin muistettava riittävä kuvausetäisyys sekä huomioida turvallisuusvaatimukset.* (Hietanen, Tiainen, Alhainen, Rousku & Kari 2017, 50)

8.1.6 Sähkömoottorille annettuja lämpötilan raja-arvoja

Lämpökameralla sähkömoottorin käämityksen lämpötilan määrittäminen voi olla haastavaa. Voidaan kuitenkin pitää eräänlaisena nyrkkisääntönä sitä, että käämityksen lämpötila on noin 15°C korkeampi, kuin mitä moottorin kotelon pinnalta mitattu lämpötila on. (Hietanen, Tiainen, Alhainen, Rousku & Kari 2017, 49)

Käyttöolosuhteet vaikuttavat suuresti moottorin valintaan. Moottorit mitoitetaan noin -15°C - +40°C ympäristön lämpötilaan, jos lämpötila poikkeaa näistä, on se otettava huomioon laitetta tilattaessa. Esimerkiksi moottorin asentaminen ulos altistaa sen jo alle -15°C lämpötiloille, jolloin tämä on syytä ottaa huomioon. Taulukosta 6 pystyy näkemään, miten lämpötila vaikuttaa moottorin mahdolliseen kuormittamiseen. Ympäristön lämpötila vaikuttaa suuresti moottorin kestävyyskykyyn. Myös moottorin valinnassa on myös otettava huomioon: värinä, melu, kosteus, räjähdysvaaralliset aineet sekä asennuskorkeus mikäli se on 1000m merenpinnan yläpuolella. (Motivan www-sivut 2020)

Taulukko 6, Ympäristö lämpötilan vaikutus moottorin kuormitukseen. (Motivan www-sivut 2020)

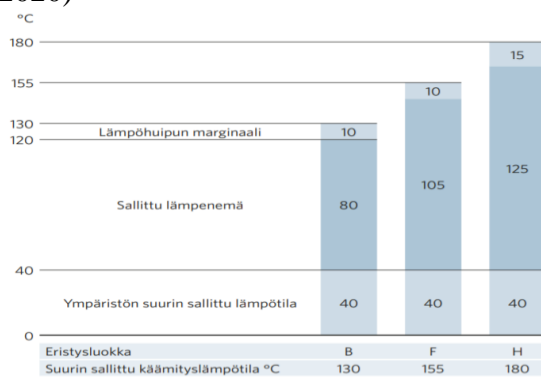
Ympäristön lämpötila / °C	40	45	50	55	60
Sallittu kuormitus nimellisestä / %	100	97	93	90	87

Sähkömoottorit kyllä kestävät hetkellisiä ylikuormituksia, mutta kuitenkin vain tietyissä rajoissa. Pitkään jatkuva pienikin ylikuorma lyhentää moottorin elinikää jo huomattavasti. Korkea lämpötila rasittavat ja vanhentavat koneen käämityksiä, mutta myös suuret lämpötilamuutokset tuottavat saman ongelman moottorille. Moottorin lämpötilojen kesto on luokiteltu eristysluokan mukaan, joita voi katsoa taulukosta 7 ja taulukosta 8. (Kokkonen 2007, 24)

Taulukko 7, Moottoreiden eristysluokat. (Kokkonen 2007, 25)

Eristysluokka	Vanha merkintä	Kuumimman pisteen lämmönsieto / °C	Sallittu lämmönnousu/K, kun ympäristön lämpötila on 40 °C	Sallittu keskimääräinen resistanssimittauksella määritetty käämityksen lämpötila /°C
90	Y	90		
105	A	105	60	
120	E	120	75	
130	B	130	80	120
155	F	155	100	140
180	H	180	125	165
200		200		
220		220		
250		250		

Taulukko 8, moottoreiden eristysluokat ja sallitut lämpenemät. (Motivan www-sivut 2020)



8.1.7 Muuntajien lämpötila raja-arvoja

Myös muuntajissa kuten pienemmissäkin laitteissa lämpötila on yksi suurimmista muuntajan vanhenemiseen vaikuttava tekijä. Mitä korkeampi on muuntajan lämpötila, sitä nopeammin muuntaja vanhenee. *Siksi on erittäin tärkeää tarkkailla muuntajien lämpötiloja.* Mutta myös muuntajan osittainen kylmyys voi olla seuraus jäähdytysöljyn vähydestä tai kertoa ongelmista sen virtauksessa. Tyypillisesti muuntajat jaetaan eristysaineensa perusteella lämpötilaluokkiin B 130°C, F 155°C tai R 180°C. (ST 53.62 2019, 10)

Tehtaalla on käytössä paisuntasäiliöllä varustettuja muuntajia. Tällöin muuntaja täytetään öljyllä paisuntasäiliön puoleenväliin asti. Tällaisessa muuntajassa muuntajan lämpötilan vaihdellessa myös öljyn lämpötila vaihtuu, tällöin myös öljynpinta paisuntasäiliössä muuttuu. Muuntajaöljyä käytetään eristysnesteena sekä jäähdytysväliaineena ja-

kelumuuntajissa. Tältä muuntajien käytettävästä eristysnesteeltä vaaditaan suurta jännitelujuutta, hyvää lämmönsiirtokykyä sekä sillä tulisi olla suuri resistiviteetti, hyvä osittaispurkauksen sietokyky sekä myös hyvä lämmön siirtokyky. Näiden lisäksi nesteellä tulee olla korkea leimahduslämpötila sekä alhainen viskositeetti. Kiehumispiste muuntajaöljyllä on 250°C - 300°C välillä ja Suomessa käytettävissä öljyillä tulee olla jähmettymispiste alle -40°C ja leimahduspisteen yli 140°C sekä mahdollisimman pieni viskositeetti, jotta se pysyy juoksevana kylmissäkin olosuhteissa. (Huuriainen 2006, 2)

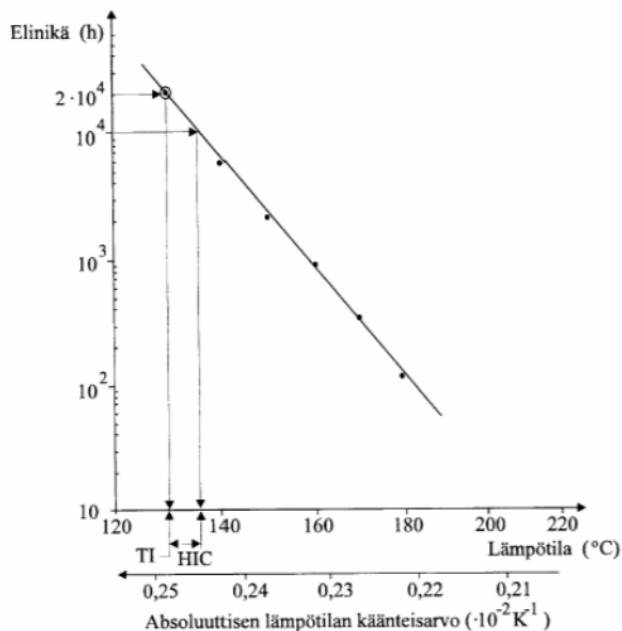
Muuntajissa on itsessään lämpötilatasku, jossa on lämpömittari. Lämpömittareita on erilaisia, mutta niistä kaikista nähdään käynti- ja maksimilämpötilat sekä niissä on myös koskettimet ohjauksia ja valvontaa varten. Paisuntasäiliössä on myös öljyn korkeuden osoitin, josta tarkkaillaan öljyn pinnan korkeutta. Jos huomataan, että öljystä on vajetta, on sitä lisättävä välittömästi, koska öljyhän toimii muuntajassa eristeaineena sekä myös jäähdytysaineena. (Huuriainen 2006, 22)

Öljyn lämpötila vaikuttaa muuntajan jännitekestoisuuteen. Lämpötila pysyy lähes vakiona -20°C - +60°C välillä. Jännitekestoisuus lisääntyy alemmissa lämpötiloissa ja alenee korkeissa lämpötiloissa. Mutta lämpötilan laskiessa alle 0°C öljyyn sitoutuneet vesipisarot jäätyvät vähentäen jännitekestoisuutta pienentävää vaikutusta. Muuntajaöljy myös hapettuu samalla tavalla muiden orgaanisten aineiden tavoin. Hapettuminen on sitä voimakkaampaa, mitä korkeampi on öljyn lämpötila. Tämä vaikuttaa muuntajien elinikään kemiallisilla reaktioilla eri tavoin riippuen öljyn koostumuksesta. Myös öljyssä olevat mahdolliset epäpuhtaudet kiihdyttävät hapettumisreaktiota. (Huuriainen 2006, 29)

Muuntajan korkea lämpötila vaikuttaa paperieristeiden vanhenemiseen, joita käytetään käämitysten eristeenä ja läpivientien sekä käämien välisten johtimien eristeenä. Itse paperin eristyskyky on ainoastaan noin 6 kV/mm, mutta paperin ja öljyn yhdessä saatu yhteyseristys tuottaa noin 40 - 75 kV/mm jännitelujuuden. Öljypaperieristyksellä varustetun muuntajan elinikäyrän voi katsoa taulukosta 9. Öljypaperieristyksen elinikä on 130°C lämpötilassa 20 000 tuntia. Mutta jo 136°C lämpötilassa elinikä lyhenee puoleen eli vain 6 kelvinin nousu vaikuttaa eliniän lyhenemisen 20 000 tunnista noin 10 000 tuntiin. Taulukosta kuitenkin näkee sen olevan hieman tuota 6 K suurempi,

mutta öljypaperieristykselle käytetään kuitenkin 6 K arvoa, sillä eliniän todelliseen arviointiin liittyy aina epävarmuutta. (Huuriainen 2006, 32)

Taulukko 9, Elinkäyrä muuntajan öljypaperieristykselle. (Huuriainen 2006, 32)



Muuntajan lämpenemiseen vaikuttaa myös käyttöympäristö sekä ulkoiset tekijät. Ilman laatu sekä lämpötila ovat hyvin keskeisiä tekijöitä muuntajan elinkaaren pituuteen. Käyttöympäristön vaikutus muuntajan elinikään saavutetaan helposti, jos muuntajan säilytystila ei ole tarpeeksi hyvin ilmastoitu tai siellä on muuntajan lisäksi jotain lämpöä tuottavia laitteita. Pienessä muuntajakopissa, jossa ei ole riittäviä tuuletusaukkoja voi auringonpaisteessa lämpötila nousta huomattavan korkeaksi. Mutta tila, jossa lämpötila on koko ajan liian korkea, on tällöin korkean lämpötilan vaikutus paljon pahempi. On huomattava, että ympäristön lämpötilan ollessa korkea laskee myös muuntajan kuormitettavuus verrattuna viileämpiin lämpötiloihin. (Huuriainen 2006, 35)

Ilman laadun vaikutus koskee niin muuntajan ulkoisia kuin sisäisiäkin osia. Paisuntasäiliöllä varustetuissa malleissa sekä myös hermeettisissä muuntajissa voi ilman epäpuhtaudet päästä kosketuksiin öljyn kanssa, jollei muuntajia ole suojattu ja jos epäpuhtaudet koostuvat tarpeeksi pienistä hiukkasista. Epäpuhtaudet voivat olla ilman seassa joko kaasuna tai pieninä hiukkasina. Niillä saattaa olla syövyttävä vaikutus riippuen ympärillä olevista teollisuuden eri prosesseista. Rasittaa tämä silloin ulkoisia sekä sisäisiä osia. Paisuntasäiliöisten muuntajien hengittäessä pääsee syövyttäviä ai-

neita muuntajan öljyn sekaan lisäten hapettumista ja paperieristeiden vanhenemisreaktioita. Muuntajan ulkoisille osille tulee taas maalipinnan vaurioita tai vahingoittavat läpivientieristimiä. Ilmassa mahdollisesti olevilla pölyhiukkasilla on merkitystä. Jos pölyhiukkaset ovat sähköä johtavaa voivat ne aiheuttaa oikosulkuja, silloin kun sitä on kertynyt tarpeeksi jännitteisten osien sekä muuntajan päälle. Tämä voi johtaa valokaa-reen muuntajan päällä, mikä taas sytyttää pölyn palamaan sekä mahdollistaa tulipalon leviämiseen nopeastikin. Sähköä johtamaton pöly sen sijaan voi muuntajan päälle ker-tyessään aiheuttaa muuntajan ylikuumentumisen heikentäessään muuntajan jäähdy-tysominaisuuksia. Esimerkiksi tehtaalla tämä voi olla merkittävä tekijä hakekentän, kuorimon sekä seulomosta mahdollisesti tulevien puupölyjen takia. On siis syytä tar-kastaa muuntajien puhtaus tietyin väliajoin. Kosteus voi myös olla haitaksi muunta-jille. Jos paisuntasäiliöllisessä muuntajassa ilmakehän silikageeli on imenyt it-seensä jo kosteutta niin paljon kun mahdollista on tällöin kosteuden mahdollista päästä muuntajaan sisälle. Myös muuntajan ylikuormitus vaikuttaa lämpenemiseen ja sitä kautta myös elinikään, mutta vaihteleva kuormitus vaikuttaa myös muuntajan elin-ikään negatiivisesti. Tämä vaikuttaa muuntajan lämpötilaan, mikä taas aiheuttaa öljyn tilavuuden muutoksia. Öljyn tilavuuden muutokset taas aiheuttavat sen, että muuntaja joutuu hengittämään ja tällöin öljy joutuu tekemisiin ulkoilman kanssa. (Huuriainen 2006, 35)

Lämpökamerakuvauksilla pystytään näkemään muuntajissa mahdollisia ongelmia lä-pivientieristeissä. On hyvä kuitenkin huomata, että läpivientieristimen ulkopinta on normaalisti kuitenkin noin 35°C - 40°C ympäristön lämpötilaa korkeampi. Tällainen viallinen läpivientieristin voi vahingoittuessaan pitää myös voimakasta särinää. Läm-pökameralla voidaan myös huomata mahdollisia viallisia liitoksia, normaalia kuu-mempia kohtia kannessa sekä muuntajan jäähdytyskanavien mahdollisia tukkeutumi-sia. Kuten muissakin lämpökamerakuvauksi täytyy muuntajassakin olla sähköt päällä sekä tulee sen olla normaalisti kuormitettu. (Huuriainen 2006, 31)

8.1.8 ATEX- tilojen lämpötilaluokat

ATEX- eli räjähdysvaaralliset tilat asettavat myös omat rajansa laitteiden pintalämpötiloihin. Tilaluokitetulla alueella esiintyvän räjähdysriskin kaasun ja tai höyryn syttymislämpötila rajoittaa laitteiden pintalämpötiloja. Sähkölaitteiden lämpötilaluokat on esitetty taulukossa 10. (ST 53.62 2019, 10)

Taulukko 10, Sähkölaitteiden lämpötilaluokat. (ST 53.62 2019, 10)

Sähkölaitteen lämpötilaluokka	Kaasun tai höyryn syttymislämpötila °C
T1	450
T2	350
T3	200
T4	135
T5	100
T6	85

8.1.9 Lämpenemän ja lämpötilojen arviointi

Näiden kaikkien taulukoiden jälkeen on kuitenkin pakko todeta, että harvoin komponenttien sallittuja lämpenemiä voidaan käyttää juuri sellaisenaan lämpökuvauksissa vian arviointiin tai voiko komponentti yleensäkin lämmentä nimelliskuormallaan liikaa. Tähän on syynä se, että lämpenemä voi olla seuraus jossakin muualla olevasta ongelmasta, eikä vika ole välttämättä itse liikaa lämmenneessä komponentissa. On kuitenkin hyvä huomioda, että laitteen kuormitus ei ole välttämättä nimellinen lämpökuvausta tehdessä. Vikaa on syytä epäillä tilanteissa, jossa samanlaisten komponenttien välillä on selvästi lämpötilapoikkeamia tai johtimet ja liittimet ovat liian kuumia. Käytännössä nämä tarkoittavat, että laitteiden lämpötiloja verrataan toisiinsa tai ympäristön lämpötiloihin. Voidaan tehdä johtopäätöksiä esimerkiksi kolmivaihejärjestelmässä vaiheiden välisistä lämpötilaeroista, joiden avulla voidaan tehdä johtopäätöksiä. Myös tässä niin kuin kaikessa muussakin vaatii tämä menetelmä vaihevirtojen mittaamisen. On kuitenkin olemassa suuntaa antava taulukko 11, joista näkee lämpötilaeroja ja niille suositeltavia toimenpiteitä. On kuitenkin huomioitava, että tämäkin taulukko ei sovellu kaikkiin tilanteisiin eikä se myöskään sovellu komponenttien maksimilämpötilojen arviointiin. (Hietanen, Tiainen, Alhainen, Rousku & Kari 2017, 51)

Taulukko 11, Lämpötilaerot ja suositeltavat toimenpiteet. (ST 53.62 2019, 10)

Lämpötilaero samanlaisten komponenttien välillä yhtä suuren kuormituksen alaisena	Lämpötilaero komponenttien ja ympäristön lämpötilan välillä	Suosittelava toimenpide
1 °C – 3 °C	0 °C – 10 °C	Mahdollisesti ongelma, seuranta
4 °C – 15 °C	11 °C – 20 °C	Todennäköinen ongelma. Korjattava, kun tilanne sallii.
–	21 °C – 40 °C	Jatkuva seuranta korjaustoimenpiteisiin asti
> 16 °C	> 40 °C	Suurella todennäköisyydellä ongelma, korjattava välittömästi

8.2 Sähkökeskusten kuvaaminen

Keskuksia kuvatessa on hyvä kuvata aina koko lähtö kaikkine komponentteineen, johdotusten, liitosten sekä kytkentöjen osalta. Näin saadaan hyvä kuva keskuslähdön kunnosta kokonaisuudessaan ja löydetään mahdollisesti poikkeamat. On myös järkevintä kuvata tietyn syötön takana oleva keskus kerralla kokonaan alusta loppuun eli tämän tietyn syötön takana oleva keskus ja siinä olevat kaikki lähdöt. Tämä mahdollistaa järjestelmällisen ja selkeän kuvauksen, sekä tekee raportoinnista ja taltioinnista helpompaa. Näin tulee kuvattua jokainen lähtö ja jos esimerkiksi kuvaaja vaihtuu, on seuraavan helppo jatkaa kuvaamista.

8.2.1 Keskuksen kasettilähtö

Tehtaalla on käytössä muutamia erilaisia keskuslähdejä. Lähdöt pystytään kyllä kuvaamaan sähköt päällä pois lukien niin sanottu kasettilähtö. Tämä johtuu siitä, että kasetin liityntä on toteutettu liityntäkoskettimilla. Kasetin takana on koskettimet, jotka kasetin työnnettäessä paikalleen liittyvät keskuksessa oleviin vastakappaleisiin. Tämä mahdollistaa lähdön vaihdon keskuksen ollessa sähköisenä sekä tämä on myös erittäin nopea tapa vaihtaa viallinen lähtö uuteen. Mutta huonona puolena lämpökuvauksen kannalta voidaan pitää sitä, että kasettilähdön kuvaaminen sähköistettynä ei onnistu, koska kasetistahan tulee sähkötön, kun se vedetään ulos. Kasetin voi tietysti kuvata kannen

päältä, mutta tästähän ei huomata lämpötilapoikkeamia muuta kuin ihan ääritapauksissa, jossa kasetin lämpötila on erittäin suuri.

Aluksi oli ajatuksena tutkia, jos kasettilähtöjen takaa ottaisi keskuksen takaseinän pois ja jos sieltä pääsisi jotenkin kuvaamaan. Mutta sähkötilaan mennessäni huomasin, keskuksien sijoittelujen takia, että keskuksien takana on melko rajallisesti tilaa. Tällainen operaatio sähköjen olleessa päällä pienessä tilassa on liian riskialtista, joten päätin olla testaamatta kyseistä mahdollisuutta tässä opinnäytetyössä. Olisi ollut kyllä mahdollisuus päästä purkamaan tällainen takaseinä jännitteettömänä, jolloin olisi ollut mahdollisuus tutkia tätä vaihtoehtoa, mutta jos kuvaaminen olisi ollut mahdollista myös keskuksen ollessa sähköisenä on siinä kuitenkin riski liian iso omasta mielestäni.

Tähän on kuitenkin olemassa toinen keino, mikä on kuitenkin kalliimpi vaihtoehto. On olemassa komponentti, joka asennetaan jokaiseen kasettilähtöön ja siitä saadaan järjestelmään tieto kasetin lämpötilasta. Haittapuolena näissä on kuitenkin vielä hinta sekä nämä toimisivat paristoilla, jolloin niiden vaihtaminen tulisi seisokkien työllistään. Joten tämä vaihtoehto varmasti vaatisi lisää selvittelyä sekä mahdollisesti muiden vaihtoehtojen tarkastelua.

8.2.2 Riskit keskuksen lämpökuvaamisessa

Keskuksen kuvaamisessa on tietysti omat riskinsä, kun siellä on kuitenkin kuvaushetkellä sähköt päällä, mutta kun tunnistetaan riskit ja osataan toimia niiden kanssa, on kuvaaminen melko turvallista. Sähköisku on suurin riski, sillä siinä usein tapahtuu henkilövahinkoja. *Mutta oikeilla varusteilla, oikealla työtavalla ja sähkömiehen ammattitaidolla tällaisia tilanteita ei kuitenkaan tulisi tapahtua. On kuitenkin tärkeää ilmoittaa valvomolle ja pyytää lupa mennä kuvaamaan kuvattavia kohteita.* Tällöin valvomossa tiedetään, että siellä tehdään töitä ja tällöin osataan varautua myös mahdollisiin poikkeustilanteisiin.

Keskuksen kuvaamisessa otetaan keskuksen kansi auki sähköjen ollessa päällä. Tällöin on tärkeää, ettei vääntele keskuslähdön kahvaa vahingossa, jolloin lähtö voi pudota pois päältä eli mennä jännitteettömäksi. Tämä siis tarkoittaa, että lähdössä oleva

moottori pysähtyy, joka taas voi vaikuttaa moneenkin muuhun kohteeseen prosessissa. Mutta rauhassa ja oikein tehtynä tämä on ihan turvallista. *Kun kansi on saatu auki, tulee esille kuormituksessa olevia komponentteja. Tällöin on muistettava sähköniskun vaara ja toimia sen mukaisesti.* Kun kansi on auki voi kuvaaja huomata, jotakin ulkoisia merkkejä mahdollisista vioista, Tällöin tulee kuvata nämä hyvin ja jos näyttää kriittiseltä on otettava heti yhteyttä vastuuhenkilöön, joka alkaa suunnitella mitä tehdään. On myös mahdollista, että keskuksen avauksessa jokin komponentti pettää aiheuttaen keskuksen putoamisen pois päältä. Tällaisessa tilanteessa, jos komponentti pettää ei kyseessä ole lämpökuvaajan virhe ja näin ollen kuvaaja ei ole syynä tähän. Tässä tilanteessa tulee vain olemassa oleva vika julki. Tämä vika olisi kuitenkin voinut tulla koska tahansa muutenkin, jolloin olisi vian etsintään mennyt aikaa ja näin ollen olisi mahdolliset tuotantomenetykset olleet suuremmat.

8.2.3 Keskuksen lämpökuvauksen vaiheet

1. Lämpökeskuksen kuvaus alkaa luvan pyytämisestä kuvattavien kohteiden pyytämällä valvomosta ja sen jälkeen kohteen riittävän kuormituksen varmistaminen.
2. Mennään kohteelle tarvikkeiden kanssa ja tehdään tilasta yleiskatsaus sekä tehdään samalla riskienarviointi. Jos riskejä löytyy, poistetaan ne ennen kuvauksen aloitusta
3. Ensimmäinen kuva otetaan sähkökeskuksen syötön positiosta. On hyvä kuvata yhden keskuksen kaikki lähdöt kerrallaan, jolloin raportointi on helpompaa ja tiedetään helposti mitä on kuvattu ja mitä ei
4. Toinen kuva kuvattavan keskuslähdon positiokilvestä
5. Keskuslähdon kannen avaus sekä mahdollisten suojiin poisto rauhallisesti. Huom. Ei saa kääntää lähdon kahvaa nolville!
6. Lähdon silmämääräinen tarkastus

7. Lähdön komponenttien kuvaamista. On tärkeää kuvata kaikkia komponentteja eikä vain yleiskuvaa koko lähdöstä, jolloin mahdollisesti huomattaisiin vain lähdön kuumin kohta/komponentti eikä välttämättä mahdollista vikapaikkaa! Eli kaikki komponentit kuvataan erikseen!
8. Kuormavirtojen mittaus pihtimittarilla sekä niiden merkkäminen esimerkiksi vihkoon niin että tietää mistä lähdöstä on kyse. Uudemmissa kameroilla on mahdollisuus saada kuormat suoraan kuvaan, joka selventää ja nopeuttaa työtä. Tulee mitata kuvaus hetkellä oleva kuormitus.
9. Mahdollisten poikkeamien kuvaaminen tarkemmin sekä kriittisen vian löytyessä ilmoitus kohteesta vastaavalle.
10. Mahdollisten suojien takaisin laitto ja keskuksen kansi varovasti kiinni. Eli palautetaan lähtö samaan tilaan kuin se olikin.
11. Seuraavan keskuslähdön kuvaus alkaa uudelleen kohdasta 4 positiokilven kuvaamisesta
12. Kuvausten jälkeen tehdään mahdollisten poikkeuksien löytymisistä raportti ja sen lähetys kuvattavien laitteiden vastaavalle
12. Lopuksi Kuvauslistan päivitys, jotta muutkin tietävät mitä on kuvattu ja mitä ei.

8.2.4 Mitä voisi ottaa huomioon uusien keskuksien tilauksessa.

Jossain kohtaa tulee kuitenkin tilanne, että täytyy tilata uusia keskuksia niin mitä olisi syytä ottaa huomioon lämpökuvauksen kannalta tai sen helpottamiseksi. Ensinnäkin pyytää keskuksen valmistajalta tieto miten kyseinen keskus tulisi lämpökuvata. Toiseksi on hyvä pyytää asentajalta laittamaan lähtöjen kaapeloinnit siten, että jokaisen kaapelin pystyy pihtiampeerimittarilla mittaamaan ilman ongelmia. Mittaaminen

voi jossain nykyisissä keskuksissa olla aika haasteellinen, koska kaapelit ovat niin lähkkin toisiaan. Tässä työssä ei kasettilähtöjä pystytty lähtemään mittaamaan niin olisi hyvä tilaus vaiheessa varmistaa miten niitä pystyisi lämpökuvaamaan tai sitten mikä muu olisi niissä oikea tapa lämpötilojen mittaukseen ilman kasettien irrotusta.

Erittäin tärkeää on lämpökuvata uusi keskus, kun se on ollut toiminnassa ja normi kuormituksella muutaman viikon. Näin saadaan keskuksen alkutilanne lämpökuvattua, jolloin on helpompi seurata mahdollisesti tulevia lämpenemiä. Tämä mahdollistaa myös sen, että huomataan mahdolliset valmistus ja asennusvirheet ja voidaan ehkäistä näiden osalta yllättäen tulevia katkoksia ja mahdollisia tuotannon menetyksiä.

8.3 Sähkömoottoreiden sekä turvakytkimen kuvaaminen

Sähkömoottorin ja turvakytkimen lämpökuvaaminen on hyvä tehdä samalla kertaa. Tällöin pystytään mittaamaan kuormitusvirrat turvakytkimeltä, jolloin saadaan luotettavasti mitattua sen hetkinen kuormitusvirta. Tämä myös säästää paljon aikaa, kun saadaan molemmat kuvattua samalla kertaa, eikä tarvitse käydä samalla kohteella useaa kertaa, kun moottori ja turvakytkin ovat usein kuitenkin vierekkäin. Lisäksi säästetään lämpökuvaajan hermoja ja saadaan maksimoitua ajankäyttö, sillä kuvaukset oikein tehtynä vievät yllättävän paljon aikaa.

8.3.1 Riskit turvakytkimen kuvaamisessa

Turvakytkimen kuvaamisessa on omat riskinsä, mitkä täytyy tiedostaa ja hyväksyä. Siksi on erittäin tärkeää saada lupa kuvata kyseisiä turvakytkimiä, joihin kuvaaja on menossa. Tällöin valvomossa tiedetään missä kytkimissä ollaan, jos jotakin sattuu tai tulee yllättäviä tilanteita. Esimerkkinä moottori sammuu niin osaavat yhdistää, että on lämpökuvauksesta johtuva, mikä voi lievittää hätäntymisen määrää valvomossa.

Ensimmäinen on sellainen mitä ei saa ammattilaiselle sattua. Eli turvakytkimen kantta avatessa ei saa liikuttaa ollenkaan turvakytkimen kahvaa. Tämä siksi että turvakytkimessä on apukosketin, mikä ohjaa kontaktoria sekä siitä saadaan myös rinnalta tieto järjestelmään, missä asennossa turvakytkin kentällä on. Tämä apukosketin kuitenkin

avautuu paljon ennen muita päävirtapiirissä olevia koskettimia, jos turvakytkimen kahvaa kääntää nollan suuntaan. Eli pienikin liike turvakytkimen kahvassa voi aiheuttaa turvakytkin tiedon puuttumisen, jolloin piiri putoaa pois päältä ja moottori pysähtyy. Moottorin pysähtymien voi taas tuoda mahdollisesti ongelmia tuotantoon tai ainakin nostattaa valvomo henkilökunnan stressi tasoa. Mutta tähän kuitenkin helpottaa ilmoitus ja luvan pyytäminen valvomosta ennen kuvauksien aloitusta, jolloin valvomo henkilökunta osaa varautua mahdollisiin moottorin pysähdyksiin.

Toinen riskitekijä on, kun avataan turvakytkimen kantta, on mahdollista, että tämä sama apukosketin, josta aikaisemmin jo puhuttiin, on hapertunut lämmöstä tai muuten väsynyt vanhuuttaan. Tällöin on mahdollisuus siihen, että se lähtee irti, jolloin tapahtuu sama tilanne, mitä aikaisemminkin eli moottori sammuu. Tämä ei taas johdu itse kuvaajasta ja tästä kuvaaja ei ole mitenkään vastuussa. Tämä on vika itse turvakytkimessä, mikä vain tuli tässä tilanteessa ilmi. Tavallaan hyvä, että tuli tässä kohtaa julki viallinen apukosketin, sillä se voisi myös lähteä paikaltaan minä hetkenä hyvänsä muutenkin. Tässä on erona se, että kuvatessa osataan jo ennalta varautua mahdolliseen tilanteeseen, jolloin korjaus tapahtuu nopeammin ja näin ollen mahdolliset tuotantomenetykset minimoidaan. Tällaista tilannetta ei kuitenkaan pysty ennakoimaan ja siksi se ei saa olla syynä siihen, ettei turvakytкимиä kuvattaisi.

Turvakytkimen kuvaamisessa voi ulkoiset tekijät aiheuttaa riskejä. Esimerkiksi ahdas paikka, jossa on kuumia putkia, on tämä otettava huomioon kuvatessa ja osata suojautua niiltä. Muutenkin on tärkeää katsoa ympärille mitä mahdollisia riskejä on ja joko suojautua niiltä tai poistaa riskit kokonaan.

8.3.2 Riskit sähkömoottorin lämpökuvaamisessa

Sähkömoottorin lämpökuvaamisessa itsessään ei ole suuria riskejä. Moottorin kuvaamisessa suurimmat riskit ovat kuuma moottori, avoinna oleva turvakytkin kuormavirtojen mittaamisen takia sekä ulkoiset tekijät kuten ahdas, liukas tai korkea paikka sekä mahdollisesti lähellä olevat kuumat putket tms. Näihin kuitenkin auttaa riskien arvi-

ointi aina kohteella, jolloin kuvaaja katsoo ympärilleen ja tekee kohteesta riskien arvioinnin. Tällöin kuvaaja osaa varoa ja laittaa oikeat suojat sekä näin varmistaa itselleen turvallisen työympäristön.

8.3.3 Turvakytkimen ja sähkömoottorin lämpökuvauksen vaiheet

1. Työ alkaa luvan pyytäminen kuvattavien kohteiden lämpökuvaukseen valvomosta ja varmistaa moottorien sekä turvakytkimien riittävä kuormitus lämpökuvaamiseen.
2. Mennään kohteelle tarvikkeiden kanssa ja tehdään tilasta yleiskatsaus sekä tehdään samalla riskienarviointi. Jos riskejä löytyy, poistetaan ne ennen kuvauksen aloitusta
3. Varmistetaan että sähkömoottorin päällä ei ole suojaa mikä estää sähkömoottorin kuvaamisen.
4. Ensimmäinen kuva otetaan turvakytkimen positiosta/tunnuksesta.
5. Avataan turvakytkimen kansi. Huom. Turvakytkintä ei saa laittaa nolllille kantta avatessa eikä myöskään liikauttaa.
6. Turvakytkimen silmämääräinen tarkastus.
7. Kuormakytkimen ja kaapeleiden lämpökuvaamista.
8. Kuormavirtojen mittaus pihtimittarilla jokaisesta vaiheesta sekä niiden merkkäminen esimerkiksi vihkoon niin että tietää mistä lähdöstä on kyse. Uudemmillä kameroilla on mahdollisuus saada kuormat suoraan kuvaan, joka selventää ja nopeuttaa työtä. Pihtimittarin voi jättää kiinni, kunnes sähkömoottorikin on kuvattu Tulee mitata kuvaus hetkellä oleva kuormitusvirta.
9. Mahdollisten poikkeamien kuvaaminen tarkemmin sekä kriittisen vian löytyessä ilmoitus kohteesta vastaavalle.
10. Kun turvakytkin on saatu kuvattu, siirrytään siitä suoraan turvakytkimen sähkömoottorille.
11. Kuvataan sähkömoottori eri suunnista niin että koko moottori tulee kuvattua ja huomataan mahdolliset lämpenemät.
12. Sähkömoottorin virrat voidaan mitata turvakytkimeltä ja siksi sitä ei suljettu siirryttäessä moottorin kuvaamiseen. Eli kuormavirtojen mittaus pihtimittarilla jokaisesta vaiheesta sekä niiden merkkäminen esimerkiksi vihkoon niin että tietää mistä lähdöstä on kyse. Uudemmillä kameroilla on mahdollisuus saada kuormat suoraan kuvaan, joka selventää ja nopeuttaa työtä. Pihtimittarin voi

jättää kiinni, kunnes sähkömoottorikin on kuvattu Tulee mitata kuvaus hetkellä oleva kuormitusvirta.

13. Mahdollisten poikkeuksien löytyessä, kuvataan ne tarkemmin sekä kriittisen vian löytyessä ilmoitus kohteesta vastaavalle.
14. Mahdollisten moottorin suojien takaisin laitto ja suljetaan turvakytkimenkansi varovasti kiinni, ettei heilauteta kahvaa. Eli palautetaan turvakytkin ja moottori samaan tilaan kuin ne olivatkin.
15. Mennään seuraavalle turvakytkimelle sekä moottorille ja toistetaan edellä olleet työvaiheet uudelleen.
16. Kuvausten jälkeen tehdään mahdollisten poikkeuksien löytymisistä raportti ja sen lähetys kuvattavien laitteiden vastaavalle.
17. Lopuksi Kuvauslistan päivitys, jotta muutkin tietävät mitä on kuvattu ja mitä ei.

Jos turvakytkintä ei saa avata tai kuvataan pelkkää sähkömoottoria, on kuormitusvirrat mitattava keskuslähdestä. Tällöin on hyvä olla kaveri, joka pystyy mittaamaan ne samaan aikaan kun lämpökuvataan. Sillä kuormitus voi muuttua kuvaajan itse siirtyessä kohteelta mittaamaan lähdestä kuormitusvirtoja. Tällöin lämpökuva ei ole enää todennukainen.

8.4 Muuntajien kuvaaminen

Tehtaan sähkökunnossapidon toimesta muuntajien lämpökuvauksia ei ole vielä paljoa suoritettu. Muuntajat sijaitsevat ulkotiloissa. Muuntajille on oma tila, joka on kolmelta seinältä betonia ja yksi seinä, joka on ulkoilmaan päin. Ulkoilmaan päin oleva seinä on tehty suurista verkko-ovista, jolloin tuuletus olisi mahdollisimman hyvä sekä isompi visuaalinen tarkastus on helppo tehdä menemättä aivan muuntajan lähelle, mikä lisää turvallisuutta. Huonona puolena tällaisessä on se, että muuntajien päälle on pitänyt asentaa metallinen suoja, mikä suojaa ulkoisilta tekijöiltä muuntajan päällä olevia komponentteja sekä liittimiä sekä myös tekee liittynnöistä suojatut koskettamiselta. Tätä suojaa ei pysy poistamaan, joten se estää komponenttien kuvaamisen sekä osittain muuntajan kannen kuvaamisen. Tämä on siis syynä siihen, että muuntajia ei ole ennen kuvattu.

On kuitenkin tultu ajassa eteenpäin ja tehtaalla halutaan alkaa lämpökuvaamaan myös muuntajia. Tämän mahdollistamiseksi on muuntajien suojakoteloihin asennettava IR-ikkunoita, joiden läpi pystytään kuvaamaan kotelon sisällä olevia muuntajien komponentteja, liitoksia sekä keskuksen kantta. Näiden IR-ikkunoiden asentaminen tapahtuisi aina silloin kun muuntaja lähetetään huoltoon. Kaikkia ei siis voida asentaa kerralla paikan päällä sillä muuntajat ovat käytössä 365 päivää vuodessa, jolloin asentaminen on mahdotonta. Mutta noin kerran vuodessa on tehtaalla isompi seisokki, jossa pystytään lähettämään yksi tai kaksi muuntajaa huoltoon, jolloin IR-ikkunoiden asennus onnistuisi turvallisesti ja oikein.

8.4.1 IR-ikkunoiden määrä sekä asennuspaikat

IR-ikkunoiden määrä sekä niiden asennuspaikat suojakotelossa on hieman vaikeampi arvioida, että milloin saadaan hyvin kuvattua kaikki suojakopan sisällä olevat komponentit, liittynät sekä muuntajan kansi. Muuntajista vastaava on kuitenkin lähtenyt viemään asiaa jo eteenpäin, sillä hän on tilannut yhden uuden muuntajan, johon hän otti myös kaksi IR-ikkunaa, jotka ovat asennettu vastakkaisille puolille suojakotelossa. Tämä uusi muuntaja tullaan asentamaan alkukesästä vanhan muuntajan paikalle. Tämä mahdollistaa sen, että voidaan konkreettisesti nähdä mihin kannattaisi ikkunat asentaa myös näissä vanhemmissa muuntajissa, jotta niistä saataisiin mahdollisimman iso hyöty. Oma ajatus olisi odottaa tätä uutta muuntajaa ja saada siitä lämpökuvauskemusta näiden IR-ikkunoiden läpi, jolloin voidaan lähteä viemään samaa ajatusta eteenpäin näihin vanhempiin muuntajiin. Sillä ei kannata välttämättä vielä lähteä samalla tavalla asentamaan näitä IR-ikkunoita vanhempiin muuntajiin niin kuin ne ovat myös tässä uudessa. Sillä ilman kokemusta siitä onko nämä ikkunoiden sijoittelut hyvät ja onko ikkunoiden määrä oikea ei ole mielestäni järkevää. Tällöin voidaan säästää mahdollisista vääristä IR-ikkunoiden asennuksista ja saadaan IR-ikkunat niihin paikkoihin, joista lämpökuvaaja pystyy todellisesti kuvaamaan muuntajan kokonaisuudessaan.

8.4.2 Muuntajan kuvaamisen riskit

Muuntajan kuvaamisessa on tärkeää huomioida oma turvallisuus, sillä kuvaukset tehdään muuntajan ollessa sähköisenä. On siis tärkeää miettiä mitä tekee sekä tietää muuntajan vaarat. On myös tärkeää kysyä lupa kuvattaviin kohteisiin ennen kuvaamisen aloittamista sekä tehdä oma riskienarviointi. Tehtaan jakelumuuntajissa on kuitenkin nämä suojakotelot muuntajien päällä, mikä lisää turvallisuutta muuntajien ympärillä huomattavasti. Haittapuolenahan niissä on se, ettei kuvausta pysty suorittamaan ilman IR-ikkunoita. Muuntajan kuvaamisessa on käytettävä myös sähköä johtamattomia A-tikkaita, että on edes mahdollisuus kuvata IR-ikkunoiden kautta muuntajaa. Myös muuntajan ympäristö voi aiheuttaa kuvaajalle vaaratekijöitä. Muuntajat voivat joskus vuotaa öljyään ulos, jolloin muuntajan ympäristöstä voi tulla hyvinkin liukas. Tämä on huomioitava ennen työn aloitusta ja puhdistettava ennen isompien töiden tekemistä kohteella. Tehtaalla muuntajat myös sijaitsevat näissä omissa suojakopeissaan ja nämä muuntajakopit ovat maanpintaa korkeammalla, jolloin on myös mahdollista kompastua muuntajakoppiin mennessä sekä sieltä pois tullessa. Tästä huomataan, että myös muuntajan kuvauksessa kuten kaikissa muissakin on erittäin tärkeää olla koko ajan ajatus itse tekemisessä, jolloin ei tapahtuisi inhimillisiä virheitä ja sen seurauksena loukkaantumisia.

8.4.3 Muuntajan virtakiskojen ja niiden liitosten lämpökuvaaminen

Virtakiskostojen lämpökuvaus liittyy myös muuntajien lämpökuvaukseen. Kuvataan siis muuntajan ja syötettävän keskuksen välisiä virtakiskostoja ja niiden liitoksia. Haasteina voi olla tällaisissa kuvauksissa sopivan kuvauskohteen löytyminen, että saataisiin luotettava mittaustulos kohteen lämpötilasta. Silloin joudutaan ensimmäiseksi etsimään mahdollisia kuvauspaikkoja kiskostoista ja jos tällaisia kohteita ei ole valmiina, joudutaan lisäämään itse kuvauskohteita kuvattaviin kiskostoihin tai liitoksiin, joista voidaan sitten myös jatkossa lämpökuvata helposti, luotettavasti sekä turvallisesti. Nämä haasteet kohdistuvat enemmänkin ilmaeristeisiin kiskostoihin, joissa on käytetty ilmaa eristeenä ja näin ollen ovat yleensä pinnaltaan vain kuparia tai alumiinia, mitä ei voida luotettavasti suoraan lämpökuvata. (ST 53.62, 11)

Tehtaalla on käytetty muuntajan ja syötettävän keskuksen välissä kosketussuojattuja virtakiskoja, jolloin kiskojen kosketussuojana on käytetty muovieristettä. Tämä mahdollistaa kompaktimman asennustavan, ilmaeristeisiin kiskostoihin verrattuna. Lämpökuvaamisen kannalta tämä mahdollistaa myös sen, että lämpökuvaus on helpompi toteuttaa näille kiskostoille, sillä voidaan kuvata suoraan kiskoa ilman tarrojen tai teippien asennuksia. Kiskostot voidaan kuvata siis suoraan kiskoston muovieristeestä. Muovieristeen emissiokerroin on samaa luokkaa kuin johdineristeidenkin eli noin 0.95, jolloin mittaus tulos on luotettava ja on näin ollen helppo ja turvallinen tapa toteuttaa lämpökuvaus kyseisistä kohteista. (Uutela 2018, 35)

On hyvä sopia lämpökuvaajien kanssa, mistä kohtaan halutaan virtakiskostot lämpökuvata. Näin saadaan aina mittaustulos samasta kohdasta, jolloin mittaustulos on luotettavampi, kun aletaan vertaamaan eri vuosien mittaustuloksia keskenään. Liitosten kuvaamisessa tulee saada kuvattua kaikki muuntajan ja syötettävän keskuksen väliset liitokset. Näin varmistetaan kaikkien liitosten kunnosta ja voidaan löytää ajoissa mahdolliset löysentyneet liitokset kiskostoissa.

8.4.4 Suojaamattomien virtakiskojen ja liitosten lämpökuvaamisen haasteet sekä niiden ratkaisut

Perehdytään myös hieman enemmän suojaamattomien virtakiskojen ja niiden liitosten lämpökuvaamisen haasteisiin, vaikka tehtaalla ei näitä haasteita ole kosketussuojattujen kiskojen ansiosta.

Virtakiskojen lämpökuvauksessa on huomioitava se mistä kohtaa kiskoa tai liitosta voi edes alkaa lämpökuvaamaan, jotta saataisiin todelliset tulokset. Näitä kohtia harvoin on valmiina missään kiskostoissa tai niiden liitoksissa, sillä nämä ovat hyvin usein pelkkää kuparia koko matkalta. Oikeastaan usein ainoa vaihtoehto onkin lisätä jokin paikka mistä voidaan lämpökuvata. Tämä on hyvä lisätä kohtaan, josta on helppo lämpökuvata myös jatkossa. Näin saadaan luotettavat tulokset joka kerralla. Tällainen voisi olla esimerkiksi jokin heijastamaton tarra, missä lukisi esimerkiksi lämpökuvauskohta tai muu vastaava mistä lämpökuvaaja sekä muut tietävät tämän tarran tarkoituksen. Jos kuitenkin ei ole saatavilla tämänkaltaisia tarroja, voidaan käyttää esimerkiksi sopivaa teipin palaa. Oli se lisätty kuvauskohde tarra, teippi tai joku muu tulee se lisätä

virtakiskoston sellaiseen kohtaan, mistä on helppo lämpökuvata ilman suurempia lisätoimia myös jatkossa. Liitosten kohdalla täytyy toimia samoin, jos ei ole mitään luotettavaa kohtaa mistä voidaan lämpökuvata. Liitoksissa on kuitenkin mahdollista, että niihin on laitettu asennusvaiheessa jokin merkki kiristetyistä liitoksesta esimerkiksi ruuvilukitteella, jolloin lämpökuvaaminen on mahdollista ilman kuvauskohteen lisäystä. *On tärkeää kuitenkin huomioida aina, kun lisätään jokin kuvauskohde esimerkiksi virtakiskostoon, on huomioitava aineen sähkönjohtavuus ja varmistaa sen sopivuus jännitteelliseen kohteeseen.* (ST 53.62 2019, 11)

Näiden kuvauspaikkojen lisäys on hyvä suorittaa sähköttömänä esimerkiksi vuosihuollon aikana. Tällöin saadaan kiskosto jännitteettömäksi, jolloin kuvauskohteen lisäys on turvallista. On kuitenkin hyvä valmistautua ja suunnitella valmiiksi mihin kohtaan kuvauskohteet tullaan lisäämään. Tämä mahdollistaa kuvauskohteiden lisäämisen nopeasti ja turvallisesti, kun kiskosto saadaan jännitteettömäksi. Tällöin saadaan mahdollisimman nopeasti laitettua kisko takaisin jännitteiseksi ja vältytään pitemmiltä sähkökatkoilta vuosihuollossa. Suunnitelma mahdollistaa myös näiden kuvauskohteiden lisäämisen esimerkiksi yllättävissä tehtaissa seisokeissa, jolloin nämä voidaan myös käyttää hyväksi. Kaikki lisäykset kannattaa tehdä aina kun tulee mahdollisuus, mutta tämä vaatii suunnitelman ja valmistautumisen. On kuitenkin myös mahdollista, että nämä kuvauskohteiden lisäykset tehdään jännitteisenä, *mutta silloin se tehdään jännitetyönä ja silloin varusteet täytyy olla jännitetyön mukaiset.* Tätä vaihtoehtoa en suosittele, sillä mahdollisuus on tehdä myös jännitteettömänä ja siksi en näe aihetta alkaa tekemään lisäyksiä jännitteisenä, jolloin riskit ovat hyvin suuret. (ST 53.62 2019, 11)

8.4.5 Virtakiskojen ja liitosten lämpökuvaamisen ajankohta

Virtakiskot ja liitokset mitä halutaan lämpökuvata, tulee niiden kuvaukset suorittaa samalla, kun lämpökuvataan kyseisen kiskoston muuntajakin. Tällöin tulee näiden muuntajien virtakiskostot kuvattua samalla eikä niitä tarvitse erikseen lähteä kuvaamaan, jolloin ne voitaisiin helposti unohtaa ja näin jättää tekemättä. Eli on hyvä huomioida muuntajan kohdalla, että niiden lämpökuvaamiseen kuuluu myös sen kohteen virtakiskostojen ja niiden liitosten kuvaus. Tämä varmistaa sen, että tulee kuvattua

myös kiskostot ja liitokset näistä kohteista sekä säästetään myös kuvaajan aikaa, kun kohde tulee kokonaisuudessaan kerralla valmiiksi.

8.4.6 Muuntajan lämpökuvaamisen vaiheet

Ennen muuntajan kuvaamista on tärkeää varmistaa lupa sen kuvaamiseen ja tehdä riskienarviointi kohteesta. *Jos riskien arvioinnissa huomaa, mahdollisia riskitekijöitä on ne poistettava ennen työn aloitusta.* Esimerkiksi öljyä muuntajan ympärillä, johon on mahdollista liukastua. Kuvauksen järjestys:

1. Luvan pyytäminen valvomosta kuvattavien kohteiden lämpökuvaukseen ja varmistaa muuntajan riittävä kuormitus lämpökuvaamiseen.
2. Mennään kohteelle tarvikkeiden kanssa ja tehdään tilasta yleiskatsaus sekä tehdään samalla riskienarviointi. Jos riskejä löytyy, poistetaan ne ennen kuvauksen aloitusta
3. Tehdään muuntajan visualinen tarkastus.
4. Ensimmäinen kuva tulee ottaa muuntajan positiosta/tunnuksesta.
5. Tämän jälkeen voidaan kuvata muuntajaa ulkopuolelta, jotta saadaan yleiskuva muuntajan kunnosta mutta myös mahdollisten poikkeamien takia esimerkiksi tällöin voidaan löytää ongelmia jäähdytyksestä tai huomata muuntajan poikkeuksellisen kova lämpeneminen.
6. Asetellaan sähköä johtamaton teline niin, että on mahdollisuus kuvata IR-ikkunasta muuntajan suojakotelon sisälle.
7. Visualinen tarkastus IR-ikkunan läpi.
8. Lämpökuvaus IR-ikkunan läpi.
9. Mahdollisten poikkeamien tarkempi kuvaaminen
10. Virran mittausta ei pysty suorittamaan, mutta muuntajan syöttämää keskuksessa on virranmittaus, josta näkee keskuksen ottaman virran, jotka tulee merkata raporttiin.
11. Mahdollisen kriittisen poikkeaman löytyessä tulee tästä tiedottaa laitteen vastaavalle välittömästi.

12. Kuvauksen jälkeen tulee muuntajakopista poistaa sinne viedyt tavarat ja laittaa ovet lukkoon.
13. Muuntajan lämpökuvaamisen jälkeen tulee tarkastaa silmämääräisesti ja lämpökuvata siihen liittyvät kiskostot sekä niiden liitokset. Kiskostojen ja niiden liitosten kuvaukset tehdään vain aiemmin sovituista kohteista, jotta tulokset olisivat luotettavia sekä vertailukelpoisia.
14. Virtakiskostojen lämpökuvaamisessa tulee ottaa muistiin virtakiskostojen sen hetkiset kuormitusvirrat, mitkä sitten myöhemmin merkitään raporttiin.
15. Seuraavan muuntajan kohdalla aloitetaan työn tekeminen kohdasta 1.
16. Lopuksi mahdollisista poikkeamista raporttien teko ja niiden lähetys sekä mahdollisen kuvauslistan päivitys.

Muuntajien lämpökuvaamisen osalta ohjeiden tarkentaminen voi olla tarpeellinen, kun tehtaalle on tullut ensimmäinen IR- ikkunoilla varustettu muuntaja. Tällöin saadaan tarkempi kokemus itse kuvaamisesta, sen eri vaiheista ja mahdollisista vielä tuntemattomista haasteista.

9 TULOKSET

Opinnäytetyön tuloksena saatiin perustiedot lämpökuvaamiseen ja siinä huomioon otettaviin asioihin sekä lämpökuvien raportointiin liittyviin ohjeisiin ja määräyksiin. Näiden lisäksi saatiin laadittua ohjeistukset lämpökuvattaviin laitteisiin, joita olivat turvakytkimet, sähkömoottorit, keskuksat sekä muuntajat. Opinnäytetyön avulla pystytään aloittamaan järjestelmällinen kuvaaminen tehtaalla sähkökunnossapidossa ja myöhemmin kokemusten tuomien tietojen ja taitojen jälkeen ohjeistuksia voidaan tarkentaa ja näin kehittää lämpökuvaamista tehtaalla entisestään. On kuitenkin hyvä ymmärtää, että tämä opinnäytetyö ei itsessään opeta lämpökuvaamaan vaan antaa siihen peruspilarit, joiden avulla pääsee jatkamaan tehtaan lämpökuvauksissa. Kuvaaminen itsessään opettaa ja siinä oppii ymmärtämään laitteita ja niiden ominaisuuksia.

10 YHTEENVETO JA JOHTOPÄÄTÖKSET

Opinnäytetyön tavoitteena oli perehtyä sähkökunnossapidon kannalta lämpökamera-kuvauksien hyötyihin ja etuihin, näillä voidaan kasvattaa tehtaan käytettävyyssastetta, koska lämpökuvaamalla voidaan löytää vialliset kohteet ennen niiden todellista hajoamista. Viallisen laitteen löytyminen ennen sen hajoamista mahdollistaa suunnitelmallisen vaihdon, jolloin minimoidaan menetykset ja korjaus pystytään tekemään turvallisesti alusta loppuun työsuunnitelman avulla. Turvallisuus on tärkein osa tehtaalla työskennellessä, joten lämpökuvaaminen on iso askel myös turvallisuuden osalta, koska pystytään ennakoimaan mahdollisesti viallisesta laitteesta johtuvat poikkeustilanteet.

Isossa tehtaassa lämpökuvaaminen voi sitoa yhden työntekijän melkein koko vuodeksi pelkästään lämpökuvaamiseen. On kuitenkin otettava huomioon siitä saatava hyöty turvallisuuden ja tehtaan käytettävyyden kannalta, jolloin huomataan, että yhden työntekijän panostuksella saadaan erittäin suuri hyöty tehtaan kokonaisuuden kannalta.

Opinnäytetyön tavoitteet täyttyivät suurimmilta osin. Keskuksien, turvakytkimien sekä sähkömoottorien kuvaamiseen saatiin hyvin koottua oleelliset asiat ja niiden avulla päästään hyvin jatkamaan tehtaalla lämpökuvauksissa. Ainoastaan muuntajan lämpökuvaamiseen ei saatu niin tarkkaa tietoa ja kokemusta mitä alun perin ajateltiin. Mutta uuden muuntajan tullessa tehtaalle ja sen avulla tulevan kuvauskokemuksen kautta, saadaan vanhojen muuntajien lämpökuvaaminen suunniteltua paremmin sekä tiedetään, miten niitä tulee muokata mahdollistaakseen niiden lämpökuvaamisen.

Työssäni opitun ja tulleen kokemuksen myötä voin ehdottaa ajan säästämiseksi sekä virheiden minimointiin uudemman mallista lämpökameraa. Uudemmallalla lämpökameralla saadaan kuva tarkennettua laser-osoittimen avulla juuri oikein ja oikeaan kohtaan sekä saadaan myös kuvausetaisyys suoraan lämpökuvaan, mikä tulee olla virallisessa raportissakin näkyvillä. Uuden mallinen lämpökamera myös mahdollistaa kuormitusvirtojen mittaamisen paljon helpommaksi ja samalla saadaan säästettyä aikaa merkittävästi. Kuormitusvirtojen mittaaminen tapahtuisi lämpökameraan yhteensopivalla pihtimittarilla, joka lähettää virtatiedot wifin avulla suoraan lämpökuvaan, jolloin saadaan juuri sen hetkinen kuormavirta mitattua ja taltioitua. Tämä myös helpottaa itse

kuvaamista, kun ei tarvitse merkitä esimerkiksi vihkoon kuormavirtoja sillä ne tulevat suoraan kuvaan ja näin ollen ne näkyvät myös raportissa ilman työlästä raportin lisämuokkausta. Näiden hankintaa voin suositella, sillä ne säästävät kuvaajan aikaa sekä saadaan minimoitua virheet, mikä on todella tärkeää lämpökuvaamisessa.

Suosittelen, että tehtaan sähkökunnossapidosta mahdollisimman monet, joilla vain on kiinnostusta lämpökuvaamisesta, menisivät suorittamaan lämpökuvaus- koulutuksen sekä tutkinnon. Tämä mahdollistaa virallisten lämpökuvauksien tekemisen ja yrityksen kannalta tätä osaamista voitaisiin myös myydä tehtaan ulkopuolelle ja näin ollen laajentaa yrityksen osaamista entisestään.

LÄHTEET

Caverion Suomi Oy:n www-sivut. Viitattu 22.10.2019. <https://www.caverion.fi>

Fluke Finland Oy:n www-sivut. Viitattu 30.10.2019. <https://www.fluke.com>

Hietanen, M., Tiainen, E., Alhainen, J., Rousku, H. & Kari, A. 2017. Sähkölaitteiston Lämpökuvaus. Sähköinfo Oy: Espoo.

Huuriainen, V. 2006. Jakelumuuntajan elinkaaritutkimus. AMK-tutkintotyö. Tampereen Ammattikorkeakoulu. Viitattu 14.01.2020.
<https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/9883/TMP.objres.853.pdf>

Kokkonen, J. 2007. Sähkökäytön valintaperiaatteet ja monimoottorikäytöt malmin laaduntasauksessa. Diplomityö. Lappeenrannan Teknillinen Yliopisto. Viitattu 14.01.2020. <https://lutpub.lut.fi/bitstream/handle/10024/29892/TMP.objres.520.pdf>

Motivan www-sivut. Viitattu 14.01.2020. <https://www.motiva.fi>

Nurmi, T. 2015. SFS 6002 Sähkötyöturvallisuus kolmas painos. Esitysmateriaali. Viitattu 09.02.2020. http://www.sfs.fi/files/7751/SFS_6002_Tapani_Nurmi_SESKO_060515.pdf

Opetushallituksen www-sivut. Viitattu 07.11.2019. <https://www.oph.fi>

ST 53.62. Sähkölaitteiston lämpökuvaus. 2019. Sähkötieto ry. Espoo: Sähköinfo. Viitattu 19.01.2020. <http://www.sahkoinfo.fi/severi>

Uutela, J. 2018. Keski-jännitetöiden kehittäminen sähköurakointiyrityksessä. Diplomityö. Espoon Aalto-yliopisto. Viitattu 21.02.2020. https://aalto-doc.aalto.fi/bitstream/handle/123456789/33724/master_Uutela_Jaakko_2018.pdf

Vuorinen, K, P. 2016. Sähköteknisten tilojen lämpöhäviöt. AMK-insinööri-työ. Metropolia Ammattikorkeakoulu. Viitattu 8.2.2020.
https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/110206/Kim_Petteri_Vuorinen.pdf

Keskuksen lämpökuvaus

Lämpökuvaamisen tärkein asia on kuvan tarkennus, joten siihen tulee kuvaajan keskittyä, että saadaan vertailukelpoisia tuloksia. Lisäksi on aina mitattava/katsottava kuormavirrat jokaisesta kuvauskohteesta kuvaus hetkellä.

1. Lämpökeskuksen kuvaus alkaa luvan pyytamisestä kuvattavien kohteiden pyytämällä valvomosta ja sen jälkeen kohteen riittävän kuormituksen varmistaminen.
2. Mennään kohteelle tarvikkeiden kanssa ja tehdään tilasta yleiskatsaus sekä tehdään samalla riskienarviointi. Jos riskejä löytyy, poistetaan ne ennen kuvauksen aloitusta
3. Ensimmäinen kuva otetaan sähkökeskuksen syötön positiosta. On hyvä kuvata yhden keskuksen kaikki lähdöt kerrallaan, jolloin raportointi on helpompaa ja tiedetään helposti mitä on kuvattu ja mitä ei
4. Toinen kuva kuvattavan keskuslähdön positiokilvestä
5. Keskuslähdön kannen avaus sekä mahdollisten suojiin poisto rauhallisesti. Huom. Ei saa kääntää lähdön kahvaa nolville!
6. Lähdön silmämääräinen tarkastus
7. Lähdön komponenttien kuvaamista. On tärkeää kuvata kaikkia komponentteja eikä vain yleiskuvaa koko lähdestä, jolloin mahdollisesti huomattaisiin vain lähdön kuumin kohta/komponentti eikä välttämättä mahdollista vikapaikkaa! Eli kaikki komponentit kuvataan erikseen!
8. Kuormavirtojen mittaaminen pihtimittarilla sekä niiden merkkäminen esimerkiksi vihkoon niin että tietää mistä lähdestä on kyse. Uudemmissa kameroilla on mahdollisuus saada kuormat suoraan kuvaan, joka selventää ja nopeuttaa työtä. Tulee mitata kuvaus hetkellä oleva kuormitus.
9. Mahdollisten poikkeamien kuvaaminen tarkemmin sekä kriittisen vian löytäessä ilmoitus kohteesta vastaavalle.
10. Mahdollisten suojiin takaisin laitto ja keskuksen kansi varovasti kiinni. Eli palautetaan lähtö samaan tilaan kuin se olikin.
11. Seuraavan keskuslähdön kuvaus alkaa uudelleen kohdasta 4 positiokilven kuvaamisesta
12. Kuvausten jälkeen tehdään mahdollisten poikkeuksien löytymisistä raportti ja sen lähetys kuvattavien laitteiden vastaavalle

13. Lopuksi Kuvauslistan päivitys, jotta muutkin tietävät mitä on kuvattu ja mitä ei!

Turvakytkimen ja sähkömoottorin lämpökuvaus

Lämpökuvaamisen tärkein asia on kuvan tarkennus, joten siihen tulee kuvaajan keskittyä, että saadaan vertailukelpoisia tuloksia. Lisäksi on aina mitattava/katsottava kuormavirrat jokaisesta kuvauskohteesta kuvaus hetkellä.

1. Työ alkaa luvan pyytäminen kuvattavien kohteiden lämpökuvaukseen valvomosta ja varmistaa moottorien sekä turvakytkimien riittävä kuormitus lämpökuvaamiseen.
2. Mennään kohteelle tarvikkeiden kanssa ja tehdään tilasta yleiskatsaus sekä tehdään samalla riskienarviointi. Jos riskejä löytyy, poistetaan ne ennen kuvauksen aloitusta
3. Varmistetaan että sähkömoottorin päällä ei ole suojaa mikä estää sähkömoottorin kuvaamisen.
4. Ensimmäinen kuva tulee ottaa turvakytkimen positiosta/tunnuksesta.
5. Avataan turvakytkimen kansi. Huom. Turvakytkintä ei saa laittaa nolllille kantta avatessa eikä edes liikuttaa!
6. Turvakytkimen silmämääräinen tarkastus.
7. Kuormakytkimen ja kaapeleiden lämpökuvaamista.
8. Kuormavirtojen mittausta pihtimittarilla jokaisesta vaiheesta sekä niiden merkkäminen esimerkiksi vihkoon niin että tietää mistä lähdöstä on kyse. Uudemmillä kameroilla on mahdollisuus saada kuormat suoraan kuvaan, joka selventää ja nopeuttaa työtä. Pihtimittarin voi jättää kiinni, kunnes sähkömoottorikin on kuvattu Tulee mitata kuvaus hetkellä oleva kuormitusvirta.
9. Mahdollisten poikkeamien kuvaaminen tarkemmin sekä kriittisen vian löytyessä ilmoitus kohteesta vastaavalle.
10. Kun turvakytkin on saatu kuvattu, siirrytään siitä suoraan turvakytkimen sähkömoottorille.
11. Kuvataan sähkömoottori eri suunnista niin että koko moottori tulee kuvattua ja huomataan mahdolliset lämpenemät.
12. Sähkömoottorin virrat voidaan mitata turvakytkimeltä ja siksi sitä ei suljettu siirryttäessä moottorin kuvaamiseen. Eli kuormavirtojen mittausta pihtimittarilla jokaisesta vaiheesta sekä niiden merkkäminen esimerkiksi vihkoon niin että tietää mistä lähdöstä on kyse. Uudemmillä kameroilla on mahdollisuus saada kuormat suoraan kuvaan, joka selventää ja nopeuttaa työtä. Pihtimittarin voi

jättää kiinni, kunnes sähkömoottorikin on kuvattu Tulee mitata kuvaus hetkellä oleva kuormitusvirta.

13. Mahdollisten poikkeuksien löytyessä, kuvataan ne tarkemmin sekä kriittisen vian löytyessä ilmoitus kohteesta vastaavalle.
14. Mahdollisten moottorin suojiin takaisin laitto ja suljetaan turvakytkenkansi varovasti kiinni, ettei heilauteta kahvaa. Eli palautetaan turvakytkin ja moottori samaan tilaan kuin ne olivatkin
15. Mennään seuraavalle turvakytkimelle sekä moottorille ja toistetaan edellä olleet työvaiheet uudelleen
16. Kuvausten jälkeen tehdään mahdollisten poikkeuksien löytymisistä raportti ja sen lähetys kuvattavien laitteiden vastaavalle
17. Lopuksi Kuvauslistan päivitys, jotta muutkin tietävät mitä on kuvattu ja mitä ei!

Muuntajan lämpökuvaus

Lämpökuvaamisen tärkein asia on kuvan tarkennus, joten siihen tulee kuvaajan keskittyä, että saadaan vertailukelpoisia tuloksia. Lisäksi on aina mitattava/katsottava kuormavirrat jokaisesta kuvauskohteesta kuvaus hetkellä.

1. Luvan pyytäminen valvomosta kuvattavien kohteiden lämpökuvaukseen ja varmistaa muuntajan riittävä kuormitus lämpökuvaamiseen.
2. Mennään kohteelle tarvikkeiden kanssa ja tehdään tilasta yleiskatsaus sekä tehdään samalla riskienarviointi. Jos riskejä löytyy, poistetaan ne ennen kuvauksen aloitusta
3. Tehdään muuntajan visualinen tarkastus.
4. Ensimmäinen kuva tulee ottaa muuntajan positiosta/tunnuksesta.
5. Tämän jälkeen voidaan kuvata muuntajaa ulkopuolelta, jotta saadaan yleiskuva muuntajan kunnosta mutta myös mahdollisten poikkeamien takia esimerkiksi tällöin voidaan löytää ongelmia jäähtymisestä tai huomata muuntajan poikkeuksellisen kova lämpeneminen.
6. Asetellaan sähköä johtamaton teline niin, että on mahdollisuus kuvata IR-ikkunasta muuntajan suojakotelon sisälle.
7. Visualinen tarkastus IR-ikkunan läpi.
8. Lämpökuvaus IR-ikkunan läpi.
9. Mahdollisten poikkeamien tarkempi kuvaaminen
10. Virran mittausta ei pysty suorittamaan, mutta muuntajan syöttämää keskuksessa on virranmittaus, josta näkee keskuksen ottaman virran, jotka tulee merkata raporttiin.
11. Mahdollisen kriittisen poikkeaman löytyessä tulee tästä tiedottaa laitteen vastaavalle välittömästi.
12. Kuvauksen jälkeen tulee muuntajakopista poistaa sinne viedyt tavarat ja laittaa ovet lukkoon.
13. Muuntajan lämpökuvaamisen jälkeen tulee tarkastaa silmämääräisesti ja lämpökuvata siihen liittyvät kiskostot sekä niiden liitokset. Kiskostojen ja niiden liitosten kuvaukset tehdään vain aiemmin sovitusta kohteista, jotta tulokset olisivat luotettavia ja vertailukelpoisia.

14. Virtakiskostojen lämpökuvaamisessa tulee ottaa muistiin virtakiskostojen sen hetkiset kuormitusvirrat, mitkä sitten myöhemmin merkitään raporttiin.
15. Seuraavan muuntajan kohdalla aloitetaan työn tekeminen kohdasta 1.
16. Lopuksi mahdollisista poikkeamista raporttien teko ja niiden lähetys sekä mahdollisen kuvauslistan päivitys.

